



Universidad  
Tecnológica  
de Pereira

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE  
CALIDAD PARA LA MEJORA DE LA CELDA DE MANUFACTURA DEL  
LABORATORIO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

ANDRÉS FELIPE MORENO SIERRA  
ADRIAN STEVEN CARDONA RIOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA – CICLO III  
PROYECTO DE GRADO  
PEREIRA, RISARALDA  
2020



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE  
CALIDAD PARA LA MEJORA DE LA CELDA DE MANUFACTURA DEL  
LABORATORIO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Presentado por:

ANDRÉS FELIPE MORENO SIERRA  
CC 1.144.094.094

ADRIAN STEVEN CARDONA RIOS  
CC 1.010.065.172

PROYECTO DE GRADO COMO PRERREQUISITO PARA ASPIRAR AL TÍTULO  
DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Dirigido por:

M.Sc BYRON SNAIDER HERNÁNDEZ OSORIO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA – CICLO III  
PROYECTO DE GRADO  
PEREIRA, RISARALDA  
2020

## **AGRADECIMIENTOS**

A la vida por permitirme tener esta oportunidad la cual muchas personas quisieran tener.

A mi madre, María Fernanda Sierra Muñoz, por ser el motor silencioso que día a día a lo largo de estos 6 años me impulsó para que hoy pueda llegar al final de esta meta, que a pesar de no entender a cabalidad por todo lo que pasé en la universidad, jamás me dio la espalda e hizo lo imposible para que no me faltara nada mientras estuviera estudiando. Sin ese apoyo y amor incondicional quizás el camino hubiera sido mucho más difícil.

A mi padre, Didier Javier Moreno Parra, quién es mi ejemplo a seguir a nivel profesional. Su experiencia fue un pilar fundamental para que yo adquiriera los conocimientos que me ayudaron a cruzar un camino que un día el también cruzó. Su comprensión, apoyo y consejos en todo momento hicieron más amenos algunos tramos de ese caudaloso río llamado universidad.

A mis padres en general, gracias por nunca dejar de creer en mí, en que fuese posible que yo llegara hasta este punto. Pido perdón por las innumerables veces que no valoré el esfuerzo y sacrificio que ustedes tuvieron que hacer para que yo pudiera estudiar. Toda mi vida les voy a estar en deuda, jamás voy a poder pagarles todo lo que han hecho por mí.

A mi hermana, Natalia Moreno Sierra, por ser la compañía más inigualable que la vida se ha preciado de brindarme.

A mi tía, Ruth Yineth Sierra Muñoz, por ser esa persona que siempre estuvo ahí cuando necesitaba ser escuchado. Gracias por comprender tantas cosas que muchos otros no pueden ver. Por darme esa palmadita en la espalda cuando más lo necesitaba y por abrirme las puertas de su hogar como si yo fuese un hijo más.

A mis tíos Víctor Manuel Posso y Rodolfo González Valencia, por ser tan paternales para conmigo y por ser el vivo ejemplo de que para ser familia no se necesita compartir lazos de consanguinidad.

A mi abuela Gilma Muñoz de Sierra por absolutamente todas y cada una de las cosas lindas que me ha brindado, por cada segundo que he podido pasar a su lado, y porque una de las alegrías más grandes de este logro es que ella esté ahí para compartirlo conmigo.

A mi abuelo, José Laureano Sierra Gómez, porque fue y seguirá siendo el mejor abuelo, padre, esposo, tío, hijo, compañero y amigo que he podido conocer. Porque donde quiera que esté, sé que debe estar muy feliz, porque este logro también es de él.

A mi abuela, Leonor Parra Salazar, porque siempre estuvo ahí para sus hijos y nietos, porque hace que se forme un nudo en la garganta al recordar todos los

momentos vividos al lado de ella, y aún más, todos los momentos que pude haber estado a su lado y sencillamente no estuve. Todo esfuerzo que me haya costado llegar hasta acá es en honor a ella, porque su vida no fue fácil, pero ella nunca desfalleció. Abuela, este premio al esfuerzo de años es un homenaje a la nobleza y pujanza que siempre te acompañó en vida.

A mi tía, Martha Nancy Moreno Parra, porque siempre fue una persona con una calidez humana inigualable, porque las muestras de afecto nunca fueron ajenas y porque donde quiera que esté, estoy seguro de que debe compartir mi felicidad.

A mis tíos Nubid Milen y Edwin Sierra Muñoz, porque siempre están ahí para conmigo.

A mis primos Jorge Eduardo y Julián David González Sierra por ser esos hermanos de diferente madre que la vida se preció de regalarme.

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por permitirme vivir los 6 mejores años de mi vida, por permitirme vivir experiencias que forjaron mi carácter y me construyeron como persona y por permitirme conocer personas increíbles. Gracias a los compañeros que siempre estuvieron conmigo, a los que me dieron la mano en un momento difícil, a los que tuve el gusto de ayudar y a los que me subestimaron también, porque me ayudaron a darme cuenta de que podía dar mucho más de mí.

A los profesores con los cuales cursé todas y cada una de las asignaturas, me llevo lo mejor de cada uno de ustedes. Hoy por hoy puedo decir con orgullo que soy un egresado de la Universidad Tecnológica de Pereira.

A mi director de tesis y amigo, el señor Byron Snaider Hernández Osorio y a mi compañero y amigo, el señor Adrian Steven Cardona Ríos por darme su voto de confianza en un momento de la carrera donde pocos se atrevían a hacerlo gracias a una imagen decadente que tristemente yo mismo me encargué de forjar. Gracias por creer en mis capacidades y creer que conmigo también era posible sacar adelante este proyecto.

Al laboratorista del programa, el señor Leodilber Daza Cabrera y al docente William Prado Martínez, porque sin su acompañamiento y asesoría hubiera sido mucho más difícil sacar esto adelante.

A todos los que se me olvida mencionar y de una manera u otra contribuyeron a que yo llegara hasta acá, solamente les puedo decir: muchas gracias.

*Andrés Felipe Moreno Sierra*

A Dios y a la vida por permitirme llegar hasta este día tan maravilloso, el cual tuvo un largo y difícil camino durante estos 5 valiosos años.

A mi madre, Stella Rios, quién ha sido el motor fundamental para llegar hasta aquí, y a quien le dedico este gran triunfo que no solo será para mi sino para los dos.

Al señor Leodilber Daza y al docente William Prado por su acompañamiento, ideas, soluciones y apoyo a lo largo de este proceso.

A mis compañeros que durante toda la carrera me prestaron su apoyo para salir de las diferentes dificultades, ya que más que compañeros se hicieron muy buenos amigos.

A mi director, el señor Byron Snaider Hernández Osorio por dedicar gran parte de su tiempo al desarrollo de este proyecto y por darnos ese voto de confianza de que todo iba a salir bien, y a mi compañero, Andrés Felipe Moreno Sierra, quien es una gran persona, la cual solo necesitaba mirar dentro de sí mismo y ver que con ayuda se pueden lograr grandes cosas.

Y al resto de docentes, los cuales me enseñaron grandes cosas en cada una de las materias aprobadas, ya que hoy en día puedo decir con orgullo que me siento un Ingeniero Mecatrónico, egresado de la Universidad Tecnológica de Pereira.

*Adrian Steven Cardona Rios*

## **RESUMEN**

Este documento presenta la implementación de un sistema de automatización y control para la mejora de la celda de manufactura del laboratorio de ingeniería mecatrónica, el cual consta de una estación de reproceso y una estación de ensamblaje de pines. En el diseño de las estaciones con sus respectivos actuadores y sensores, realizado a través de un diseño asistido por computador, se determinan las dimensiones y ubicaciones de los elementos dentro cada estación y cómo van a ir dispuestas ambas estaciones en la celda de manufactura. Ya en la implementación, se construye una estación para el brazo robótico el cual es el autómatas responsable de realizar el reproceso que consiste en reemplazar una tapa si su color no coincide con la caja. También se construye la estación de ensamblaje de pines, cuyo actuador principal es un cilindro que es el encargado de insertar los pines en la pieza. Y finalmente se programan todas las estaciones, incluyendo las dos estaciones construidas, mediante el software TIA Portal de Siemens, el cual va ser almacenado en un PLC Siemens S7-300 y distribuido a lo largo de la celda por medio de un protocolo de comunicación PROFIBUS, el cual opera con un maestro (PLC) y con tarjetas esclavo para cada estación.

## **ABSTRACT**

This document presents the implementation of an automation and control system for the improvement of the manufacturing cell of the mechatronics engineering laboratory, which consists of a reprocessing station and a pin assembly station. In the design of the stations with their respective actuators and sensors, carried out through a computer-aided design, the dimensions and locations of the elements within each station are determined and how both stations will be arranged in the manufacturing cell. Already in the implementation, a station is built for the robotic arm, which is the automaton responsible for carrying out the reprocessing that consists of replacing a lid if its color does not match the box. The pin assembly station is also built, whose main actuator is a cylinder that is responsible for inserting the pins into the part. And finally, all the stations are programmed, including the two stations built, using the Siemens TIA Portal software, which will be stored in a Siemens S7-300 PLC and distributed throughout the cell by means of a PROFIBUS communication protocol, which operates with a master (PLC) and with slave cards for each station.

## Contenido

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 14  |
| CAPÍTULO 1: DEFINICION DE CONCEPTOS.....                                | 17  |
| CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LAS ESTACIONES.....                               | 22  |
| 2.1 DISEÑO DEL ENSAMBLADOR DE PINES .....                               | 23  |
| 2.2 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BRAZO .....                                | 28  |
| CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES.....                         | 37  |
| 3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE ENSAMBLAJE DE PINES.....             | 37  |
| CAPITULO 4: PROGRAMACIÓN COMPLETA DEL SISTEMA .....                     | 53  |
| 4.1 PROGRAMACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA HACIENDO USO DE UN PLC..... | 53  |
| 4.1.1 ESTACIÓN DE SEPARACIÓN.....                                       | 57  |
| 4.1.2 ESTACIÓN DE MONTAJE .....   | 64  |
| 4.1.3 ESTACIÓN DE VERIFICACIÓN .....                                    | 69  |
| 4.1.4 ESTACIÓN DE MANIPULACIÓN .....                                    | 76  |
| 4.1.5 ESTACIÓN DE BRAZO ROBÓTICO .....                                  | 85  |
| 4.1.6 ESTACIÓN DE ENSAMBLAJE DE PINES.....                              | 91  |
| CAPÍTULO 5: PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO .....                       | 96  |
| CAPITULO 6: ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS .....                      | 101 |
| 6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA ESTACIÓN DE PINES.....                   | 101 |
| 6.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA ESTACIÓN DE BRAZO .....                  | 102 |
| CAPITULO 7: MARCO LEGAL .....   | 105 |
| PRESUPUESTO.....  | 106 |
| CONCLUSIONES .....  | 108 |
| RECOMENDACIONES.....  | 109 |
| ANEXOS .....  | 110 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 116 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Cilindro neumático [3] .....  | 17 |
| Figura 2 - Celda de Manufactura [4].....   | 17 |
| Figura 3 - Sensor Capacitivo [6].....  | 18 |
| Figura 4 - Banda transportadora [7] .....  | 18 |
| Figura 5 - Válvula biestable 5/2 [9].....  | 19 |
| Figura 6 - Símbolo de una válvula reguladora de caudal [11].....                         | 19 |
| Figura 7 - Controlador Lógico Programable SIEMENS [13].....                              | 20 |
| Figura 8 - Brazo robótico [15].....  | 20 |
| Figura 9 - Protocolo de comunicación Profibus. [16] .....                                | 21 |
| Figura 10 - Sistema de transporte de la celda.....                                       | 22 |
| Figura 11 - Producto sin el pin de ensamble .....  | 23 |
| Figura 12 - Almacén de pines .....   | 24 |
| Figura 13 - Cilindro de parada. ....   | 24 |
| Figura 14 - Cilindro ensamblador .....   | 25 |
| Figura 15 - Electroválvula monoestable 5/2 .....   | 25 |
| Figura 16 - Sensor del pin de pieza .....  | 26 |
| Figura 17 - Sensor del almacén de pines.....   | 26 |
| Figura 18 - Placa base de acrílico.....  | 27 |
| Figura 19 - Estación de ensamblaje de pines.....   | 27 |
| Figura 20 - Estación de pines acoplada a la celda .....                                  | 27 |
| Figura 21 - Estación de pines, vista posterior.....                                      | 28 |
| Figura 22 - Producto sin errores.....  | 28 |
| Figura 23 - Producto defectuoso .....  | 29 |
| Figura 24 - Cilindro de parada de la estación de brazo. ....                             | 29 |
| Figura 25 - Almacenes de tapas .....   | 29 |
| Figura 26 – Especificaciones técnicas del brazo robótico [18].....                       | 30 |
| Figura 27 - Diseño CAD del brazo robótico [15].....                                      | 31 |
| Figura 28 - Soporte ventosa.....   | 31 |
| Figura 29 - Soporte acoplado al brazo .....  | 32 |
| Figura 30 - Diseño del motor en CAD .....  | 32 |
| Figura 31 - Unión del motor con el acople y el eje.....                                  | 33 |
| Figura 32 - Acople de tapón con el eje del actuador. ....                                | 33 |
| Figura 33 - Soporte del actuador lineal. ....  | 34 |
| Figura 34 - Soporte vertical de ejes .....   | 34 |
| Figura 35 - Finales de carrera ubicados en el soporte del actuador. ....                 | 35 |
| Figura 36 – Actuador lineal. ....  | 35 |
| Figura 37 - Placa base de la estación de brazo .....                                     | 36 |
| Figura 38 – Placa base con todos los elementos acoplada a la celda.....                  | 36 |
| Figura 39 - Diseño completo de la estación de brazo.....                                 | 36 |
| Figura 40 - Placa base de la estación de pines previo a su instalación en la celda ..... | 37 |
| Figura 41 - Perfil de aluminio de la estación de pines .....                             | 38 |
| Figura 42 - Estación de pines recién fijada a la celda .....                             | 38 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 43 - Distribución electroneumática de la estación de pines .....                        | 39 |
| Figura 44 - Electroválvula de la estación de pines .....                                       | 39 |
| Figura 45 - Cilindro de parada de la estación de pines. ....                                   | 40 |
| Figura 46 - Cilindro de ensamble de la estación de pines .....                                 | 40 |
| Figura 47 - Conjunto de borneras de distribución de entradas y salidas .....                   | 41 |
| Figura 48 - Sensor inductivo del almacén de pines .....  | 41 |
| Figura 49 - Sensor inductivo de pieza .....  | 42 |
| Figura 50 - Cilindro ensamblador acoplado a la estación .....                                  | 42 |
| Figura 51 - Sensor magnético de entrada de la estación de pines .....                          | 43 |
| Figura 52 - Momento en el que el pallet pasa por el sensor magnético .....                     | 43 |
| Figura 53 - Estación de ensamble de pines concluida .....                                      | 44 |
| Figura 54 - Estación de ensamble, vista lateral .....  | 44 |
| Figura 55 - Placa base de la estación de brazo .....   | 45 |
| Figura 56 - Perfil de la estación de brazo .....   | 46 |
| Figura 57 - Estación de brazo al momento de su instalación en la celda .....                   | 46 |
| Figura 58 - Piezas de los almacenes de tapas recién cortadas sobre la lámina de acrílico ..... | 47 |
| Figura 59 - Almacenes de tapas ya contruidos.....  | 47 |
| Figura 60 - Placa extensora de la mesa del brazo.....  | 48 |
| Figura 61 - Unión entre la mesa de la celda y la mesa del brazo .....                          | 48 |
| Figura 62 - Actuador lineal acoplado a la celda.....   | 49 |
| Figura 63 - Electroválvula de la estación de brazo .....                                       | 49 |
| Figura 64 - Cilindro de parada de la estación de brazo .....                                   | 49 |
| Figura 65 - Módulo reductor de voltaje .....   | 50 |
| Figura 66 - Módulo de relevadores .....  | 50 |
| Figura 67 - Módulo puente H .....  | 51 |
| Figura 68 - Finales de carrera del actuador lineal .....                                       | 51 |
| Figura 69 - Módulo de entradas y salidas de control con puerto DB25.....                       | 52 |
| Figura 70 - Estación de brazo robótico finalizada.....   | 52 |
| Figura 71 - PLC de celda .....   | 53 |
| Figura 72 - Mando de control .....   | 54 |
| Figura 73 - Tarjeta esclavo PROFIBUS DP.....   | 55 |
| Figura 74 - Circuito de red de comunicación .....  | 56 |
| Figura 75 - Programa principal.....  | 56 |
| Figura 76 - Estación de separación.....  | 57 |
| Figura 77 - Direccionamiento PROFIBUS - Estación de separación .....                           | 58 |
| Figura 78 - Diagrama de flujo de la estación de separación .....                               | 59 |
| Figura 79 - Etapa 1 - Estación de separación .....   | 60 |
| Figura 80 - Transición 1 - Estación de separación .....  | 60 |
| Figura 81 - Etapa 2 - Estación de separación .....   | 60 |
| Figura 82 - Transición 2 - Estación de separación .....  | 61 |
| Figura 83 - Etapa 3 - Estación de separación .....   | 61 |
| Figura 84 - Transición 3 - Estación de separación .....  | 61 |
| Figura 85 - Etapa 4 - Estación de separación .....   | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 86 - Transición 4 - Estación de separación .....             | 62 |
| Figura 87 - Etapa 5 - Estación de separación .....                  | 62 |
| Figura 88 - Transición 5 - Estación de separación .....             | 62 |
| Figura 89 - Etapa 6 - Estación de separación .....                  | 63 |
| Figura 90 - Transición 6 - Estación de separación .....             | 63 |
| Figura 91 - Etapa 7 - Estación de separación .....                  | 63 |
| Figura 92 - Transición 7 - Estación de separación .....             | 63 |
| Figura 93 - Etapa 8 - Estación de separación .....                  | 64 |
| Figura 94 - Transición 8 - Estación de separación .....             | 64 |
| Figura 95 - Etapa 9 - Estación de separación .....                  | 64 |
| Figura 96 - Estación de montaje .....                               | 65 |
| Figura 97 - Diagrama de flujo - Estación de montaje.....            | 66 |
| Figura 98 - Transición 9 - Estación de montaje .....                | 66 |
| Figura 99 - Etapa 10 - Estación de montaje .....                    | 66 |
| Figura 100 - Transición 10 - Estación de Montaje .....              | 67 |
| Figura 101 - Etapa 11 - Estación de montaje .....                   | 67 |
| Figura 102 - Transición 11 - Estación de montaje .....              | 67 |
| Figura 103 - Etapa 12 - Estación de montaje .....                   | 67 |
| Figura 104 - Transición 12 - Estación de montaje .....              | 68 |
| Figura 105 - Etapa 13 - Estación de montaje .....                   | 68 |
| Figura 106 - Transición 13 -Estación de montaje .....               | 68 |
| Figura 107 - Etapa 14 - Estación de montaje .....                   | 68 |
| Figura 108 - Transición 14 - Estación de montaje .....              | 69 |
| Figura 109 - Etapa 15 - Estación de montaje .....                   | 69 |
| Figura 110 - Estación de verificación .....                         | 70 |
| Figura 111 - Diagrama de flujo de la estación de verificación ..... | 71 |
| Figura 112 - Transición 15 - Estación de verificación .....         | 71 |
| Figura 113 - Etapa 16 - Estación de verificación .....              | 71 |
| Figura 114 - Transición 16 - Estación de verificación .....         | 71 |
| Figura 115 - Etapa 17 - Estación de verificación .....              | 72 |
| Figura 116 - Transición 17 - Estación de verificación .....         | 72 |
| Figura 117 - Etapa 18 - Estación de verificación .....              | 72 |
| Figura 118 - Transición 19 - Estación de verificación .....         | 73 |
| Figura 119 - Etapa 19 - Estación de verificación .....              | 73 |
| Figura 120 - Transición 21 - Estación de verificación .....         | 73 |
| Figura 121 - Etapa 20 - Estación de verificación .....              | 74 |
| Figura 122 - Transición 23 - Estación de verificación .....         | 74 |
| Figura 123 - Etapa 21 - Estación de verificación .....              | 74 |
| Figura 124 - Transición 18 - Estación de verificación .....         | 74 |
| Figura 125 - Transición 20 - Estación de verificación .....         | 75 |
| Figura 126 - Transición 22 - Estación de verificación .....         | 75 |
| Figura 127 - Transición 24 - Estación de verificación .....         | 75 |
| Figura 128 – Etapa 22 - Estación de verificación .....              | 75 |
| Figura 129 - Transición 25 - Estación de verificación .....         | 76 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 130 - Estación de manipulación .....                         | 76 |
| Figura 131 - Diagrama de flujo de la estación de manipulación. .... | 78 |
| Figura 132 - Etapa 23 - Estación de manipulación.....               | 78 |
| Figura 133 - Transición 26 - Estación de manipulación.....          | 79 |
| Figura 134 - Etapa 24 - Estación de manipulación.....               | 79 |
| Figura 135 - Transición 27 - Estación de manipulación.....          | 79 |
| Figura 136 - Etapa 25 - Estación de manipulación.....               | 79 |
| Figura 137 - Transición 28 - Estación de manipulación.....          | 80 |
| Figura 138 - Etapa 26 - Estación de manipulación.....               | 80 |
| Figura 139 - Transición 29 - Estación de manipulación.....          | 80 |
| Figura 140 - Etapa 27 - Estación de manipulación.....               | 80 |
| Figura 141 - Transición 30 - Estación de manipulación.....          | 81 |
| Figura 142 - Etapa 28 - Estación de manipulación.....               | 81 |
| Figura 143 - Transición 31 - Estación de manipulación.....          | 81 |
| Figura 144 - Etapa 29 - Estación de manipulación.....               | 81 |
| Figura 145 - Transición 32 - Estación de manipulación.....          | 82 |
| Figura 146 - Etapa 30 - Estación de manipulación.....               | 82 |
| Figura 147 - Transición 33 - Estación de manipulación.....          | 82 |
| Figura 148 - Etapa 31 - Estación de manipulación.....               | 82 |
| Figura 149 - Transición 34 - Estación de manipulación.....          | 83 |
| Figura 150 - Etapa 32 - Estación de manipulación.....               | 83 |
| Figura 151 - Transición 35 - Estación de manipulación.....          | 83 |
| Figura 152 - Etapa 33 - Estación de manipulación.....               | 83 |
| Figura 153 - Transición 36 - Estación de manipulación.....          | 84 |
| Figura 154 - Transición 37 - Estación de manipulación.....          | 84 |
| Figura 155 - Etapa 34 - Estación de manipulación.....               | 84 |
| Figura 156 - Transición 38 - Estación de manipulación.....          | 84 |
| Figura 157 - Estación de brazo robótico.....                        | 85 |
| Figura 158 - Etapa 35 - Estación de brazo.....                      | 87 |
| Figura 159 - Transición 39 - Estación de brazo.....                 | 87 |
| Figura 160 - Transición 40 - Estación de brazo.....                 | 87 |
| Figura 161 - Etapa 36 - Estación de brazo.....                      | 88 |
| Figura 162 - Transición 41 - Estación de brazo.....                 | 88 |
| Figura 163 - Etapa 37 - Estación de brazo.....                      | 88 |
| Figura 164 - Transición 42 - Estación de brazo.....                 | 88 |
| Figura 165 - Etapa 38 - Estación de brazo.....                      | 89 |
| Figura 166 - Transición 44 - Estación de brazo.....                 | 89 |
| Figura 167 - Etapa 39 - Estación de brazo.....                      | 89 |
| Figura 168 - Transición 43 - Estación de brazo.....                 | 89 |
| Figura 169 - Transición 45 - Estación de brazo.....                 | 89 |
| Figura 170 - Etapa 40 - Estación de brazo.....                      | 90 |
| Figura 171 - Transición 46 - Estación de brazo.....                 | 90 |
| Figura 172 - Etapa 41 - Estación de brazo.....                      | 90 |
| Figura 173 - Transición 47 - Estación de brazo.....                 | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 174 - Etapa 42 - Estación de brazo .....                         | 91  |
| Figura 175 - Estación de ensamblaje .....                               | 91  |
| Figura 176 - Diagrama de flujo - Estación ensamblaje .....              | 92  |
| Figura 177 - Transición 48 - Estación de ensamblaje.....                | 93  |
| Figura 178 - Etapa 43 - Estación de ensamblaje.....                     | 93  |
| Figura 179 - Transición 49 - Estación de ensamblaje.....                | 93  |
| Figura 180 - Etapa 44 - Estación de ensamblaje.....                     | 93  |
| Figura 181 - Transición 50 - Estación de ensamblaje.....                | 93  |
| Figura 182 - Etapa 45 - Estación de ensamblaje.....                     | 94  |
| Figura 183 - Transición 51 - Estación de ensamblaje.....                | 94  |
| Figura 184 - Etapa 46 - Estación de ensamblaje.....                     | 94  |
| Figura 185 - Transición 52 - Estación de ensamblaje.....                | 94  |
| Figura 186 - Etapa 47 - Estación de ensamblaje.....                     | 94  |
| Figura 187 - Transición 53 - Estación de ensamblaje.....                | 95  |
| Figura 188 – Programación de brazo - Secuencia 1 .....                  | 96  |
| Figura 189 – Programación de brazo - Secuencia 1 - Vista 2 .....        | 97  |
| Figura 190 - Programación de brazo - Secuencia 2 - Vista 1 .....        | 97  |
| Figura 191 - Programación de brazo - Secuencia 2 - Vista 2 .....        | 98  |
| Figura 192 - Programación de brazo - Secuencia 3 - Vista 1 .....        | 98  |
| Figura 193- Programación de brazo - Secuencia 3 - Vista 2 .....         | 99  |
| Figura 194 - Programación de brazo - Final del reproceso.....           | 99  |
| Figura 195 - Controlador del brazo robótico .....                       | 100 |
| Figura 196 - Pines de ensamble de la celda .....                        | 101 |
| Figura 197 - Elevación en la parte trasera del cilindro.....            | 102 |
| Figura 198 - Almacén de pines de repuesto.....                          | 102 |
| Figura 199 - Módulos elevadores removidos de la estación de brazo ..... | 103 |
| Figura 200 - Almacenes de tapas de acrílico de 4mm.....                 | 104 |
| Figura 201 - Almacenes de tapas utilizados finalmente .....             | 104 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1 - Tabla de variables del mando de control.....                           | 54  |
| Tabla 2 - Tabla de variables - Estación de separación.....                       | 58  |
| Tabla 3 - Tabla de variables - Estación montaje .....                            | 65  |
| Tabla 4 - Tabla de variables - Estación de verificación .....                    | 70  |
| Tabla 5 - Tabla de variables de la estación de manipulación .....                | 77  |
| Tabla 6 - Tabla de variables - Estación de brazo .....                           | 86  |
| Tabla 7 - Diagrama de flujo de la estación de brazo .....                        | 86  |
| Tabla 8 - Tabla de variables - Estación de ensamblaje .....                      | 92  |
| Tabla 9 – Costos directos de ejecución.....                                      | 106 |
| Tabla 10 - Costos indirectos de ejecución.....                                   | 107 |
| Tabla 11 - Vistas estación de pines – Visión general .....                       | 110 |
| Tabla 12 - Vistas estación de pines – Base .....                                 | 110 |
| Tabla 13 - Vistas estación de pines - Soporte sensor y almacén pines.....        | 111 |
| Tabla 14 - Vistas estación de pines - Mesa cilindro y perfil 20x20.....          | 111 |
| Tabla 15 - Vistas estación de Pines - Ficha técnica .....                        | 112 |
| Tabla 16 - Vistas estación de brazo - Visión general.....                        | 112 |
| Tabla 17 - Vistas estación de brazo - Base 2.....                                | 113 |
| Tabla 18 - Vistas estación de brazo - Pieza ventosa.....                         | 113 |
| Tabla 19 - Vistas estación de brazo - Almacén tapas.....                         | 114 |
| Tabla 20 - Vistas estación de brazo - Soporte Actuador Lineal .....              | 114 |
| Tabla 21 - Vistas estación de brazo - Perfil 20x20 .....                         | 114 |
| Tabla 22 - Vistas estación de brazo - Ficha técnica .....                        | 115 |
| Tabla 23 - Diagrama eléctrico de las estaciones de la celda de manufactura ..... | 115 |

## INTRODUCCIÓN

En la Universidad Tecnológica de Pereira, específicamente en el laboratorio del programa de Ingeniería Mecatrónica existen diversos elementos que contribuyen a una formación práctica del estudiantado. En las universidades, uno de los grandes problemas es la falta de elementos prácticos donde los estudiantes pueden aplicar lo aprendido en la teoría. En el inventario del programa se cuenta con elementos de electrónica, electroneumática, óleo neumática, robótica, entre otros.

Dentro de ese inventario se cuenta con una celda de manufactura y un brazo robótico Kawasaki RS-03N, este último siendo un elemento que no tiene una función específica dentro del laboratorio, ya que la única función que tiene asignada es el modo de prueba: se opera el brazo manualmente con el mando, teniendo los recursos operativos para responder a un algoritmo que pueda favorecer y reforzar un proceso de automatización, en este caso la celda de manufactura.

La celda de manufactura comprende además un proceso de ensamble de cajas donde las tapas se fijan al resto de la pieza mediante un pin de aluminio. El pin se ingresa manualmente, pero no hay un proceso donde este pin se ensamble automáticamente.

La celda de manufactura dentro de la enseñanza de la automatización industrial juega un papel fundamental ya que permite que el estudiante interactúe con la secuencia lógica que debe llevar la programación para que esta pueda funcionar. Se logra entender la relación entre entradas y salidas luego de presenciar el funcionamiento del sistema según el programa cargado en el PLC. Sin embargo, el proceso de manufactura realizado es inconcluso, ya que teóricamente el proceso comprende el ensamblaje de cajas con sus respectivas tapas y finalmente la inserción de un pin de aluminio que va a fijar las dos piezas previo a su transporte al almacén. Además, existe una estación cuyo propósito es retirar las tapas no correspondientes en caso de que los colores no coincidan, sin embargo, este proceso solo es de remoción y la caja sobrante se debe retirar manualmente de la celda. Se pretende integrar un sistema que concluya la automatización del proceso de manufactura insertando los pines en las piezas de manera automatizada, ya que actualmente este proceso se hace manualmente. Además, también se pretende integrar el brazo robótico con el propósito de adicionar un proceso de control de calidad en los ensambles enfocado a posibles errores en el color de estos. Finalmente, también se pretende que sea el mismo brazo el que corrija estos errores previos al proceso de inserción del pin, ubicando las tapas en los cuerpos de su mismo color y almacenando las que estén combinadas, realizando el debido

reproceso. Para abordar el tema con mayor propiedad el problema planteado es importante considerar el contexto histórico de la automatización industrial.

Para hablar de sistemas automatizados, es imprescindible remontarse a finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, cuando James Watt, ingeniero mecánico, químico e inventor escocés, quien inventó la máquina de vapor, la cual dio lugar al desarrollo de la automatización en lo que sería posteriormente la revolución industrial. Una máquina a vapor es un motor de combustión externa que transforma la energía térmica de una cantidad de agua en energía mecánica. Su diseño fue desarrollado esporádicamente entre 1763 y 1775 [1].

Algún tiempo después, a mediados del siglo XX, los físicos John Bardeen, Walter Brattain y William Shokkley desarrollan el primer transistor en los laboratorios de Bell. Ya en 1954, Heinrich Grünebaum desarrolla el motor alquist, convirtiéndose en el padre de los motores controlados y revolucionando los procesos de rebobinado durante toda la década de los años 60 [2] .

En sí, la automatización industrial fue un hit en el siglo XX, y hoy en día casi la totalidad de la industria productiva requiere automatización industrial, varios acontecimientos han marcado la historia de la automatización, entre ellos es importante mencionar:

**1959:** Primera herramienta de maquinado controlada por computador. El primer controlador Simatic en un torno *capstan* fue presentado en la sexta versión de la feria EMO de París. La lógica todavía era por cableado.

**1967:** Antes de la electrónica de potencia: Antes de que los diodos, tiristores y los IGBT's estuvieran disponibles, las corrientes eran rectificadas con rectificadores de selenio, o con rectificadores de arco de mercurio gigantes emitiendo luz azul misterioso.

Las unidades electrónicas. En 1967 AMK presentó el primer motor de corriente de jaula de ardilla de tres fases infinitamente variable de producción masiva. Ocho años después otra innovación de AMK permitió que varios motores de tres fases fueran operados con sincronismos angulares por primera vez.

**1968:** PLC: La exitosa historia del PLC empezó con el Control Industrial Modular de Dick Morley.

**1978:** A nivel de máquinas: dispositivos de programación de la era pre-PC eran muy grandes y pesados. La programación CNC a nivel de máquinas – una vez más introducido por AMK – representó un proceso notable.

**1987:** Coincidencia: un cliente solicitó que un sistema de control Beckhoff fuera equipado con un disco duro. La solución más simple fue la de integrar un PC. Pronto se evidenció que el PC podría hacer más que actuar como un recolector de datos para el sistema de control, y la era de los PC en la industria de la automatización arrancó.

**1997:** Empuje de integración: la tecnología de automatización consiste cada vez más en un control descentralizado e inteligente y con componentes de control que se puedan comunicar con otros mediante Ethernet industrial.

Fábrica Digital y comisionamiento Virtual: el mundo del desarrollo de productos digitales se fusiona con la tecnología de automatización. Programas de control para procesos de producción están desarrollados basados en la simulación.

**2004:** La funcionalidad del PLC fue descubierta en un chip. [1]

Dado lo anterior, y como solución al problema planteado, se propone como proyecto de grado para aspirar al título de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira la implementación de un sistema de automatización y control de calidad para la mejora de la celda de manufactura del laboratorio de ingeniería mecatrónica, analizando el problema de fondo se plantea un objetivo principal y mediante la experiencia adquirida se plantea el desarrollo de ciertos objetivos específicos con el fin de realizar a cabalidad el primero en mención.

Como objetivo principal se plantea la implementación de mejoras en la celda de manufactura a nivel de proceso de producto (ensamblaje de pines) y control de calidad (corrección de ensambles defectuosos).

Como objetivos específicos se plantean:

- Diseñar el sistema mecatrónico para almacenamiento e inserción de pines en el ensamble.
- Construir el banco de almacenamiento y el sistema de ensamblaje de pines.
- Definir las operaciones que se deben realizar para el descarte de piezas defectuosas bajo algún criterio.
- Programar el brazo robótico RS-03N para el descarte de ensambles defectuosos.



## CAPÍTULO 1: DEFINICION DE CONCEPTOS

Dentro del desarrollo tanto investigativo como constructivo del proyecto se encuentran diversos elementos y términos que suelen ser desconocidos por la mayoría de las personas y que además es imprescindible tenerlos presentes para la comprensión de este documento. Por tal motivo, a continuación, se definen los términos más importantes referentes a este trabajo.

### CILINDRO NEUMÁTICO

Un cilindro o pistón neumático es un dispositivo mecánico que produce una fuerza y desplazamiento mediante aire comprimido. Transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética [3].



Figura 1 - Cilindro neumático [3]

### CELDA DE MANUFACTURA

Una celda de manufactura es una unidad pequeña con uno o varios procesos realizados por las estaciones de trabajo, dentro de un sistema de manufactura. Una estación de trabajo suele contener una o varias máquinas, las cuales efectúan el proceso de la estación en la que se encuentra. Todas las estaciones trabajan en conjunto para la fabricación de un producto en serie [4].

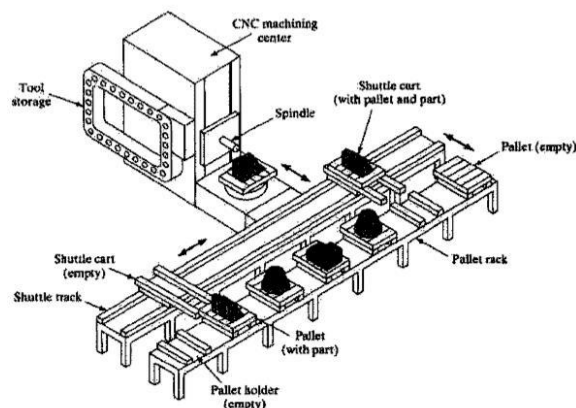
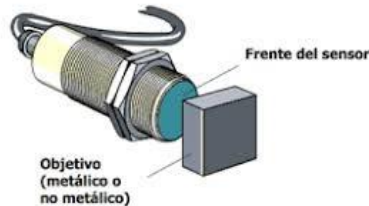


Figura 2 - Celda de Manufactura [4]

## SENSOR CAPACITIVO

Los sensores capacitivos son un tipo de sensor eléctrico. Los sensores capacitivos (KAS) reaccionan ante metales y no metales que al aproximarse a la superficie activa sobrepasan una determinada capacidad. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica [5]



*Figura 3 - Sensor Capacitivo [6]*

## BANDA TRANSPORTADORA

Una banda transportadora es un sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores, el cual recibe diversos nombres tales como:

- Banda Transportadora
- Cinta Transportadora
- Transportador
- Conductor

Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por su motor. Esta fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda transportadora, habitualmente mediante un mecanismo tensor por husillo o tornillo tensor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores. Denominados rodillos de soporte [7].



*Figura 4 - Banda transportadora [7]*

## VÁLVULA ELECTRONEUMÁTICA

Las electroválvulas son actuadores que permiten controlar eléctricamente circuitos de fluidos como el del gas, o el del agua. Una válvula biestable es aquella que no tiene una posición referencial y permanece en cualquier posición hasta que se activa una de las dos señales de impulso [8].

En este caso particular, se utiliza una válvula biestable 5/2. La válvula neumática de 5/2 vías con racores rápidos y tapón ciego está atornillada a una placa funcional que en la conexión P tiene un silenciador. La unidad se monta en el panel de prácticas perfilado utilizando la palanca de color azul (variante de montaje «A») [9].

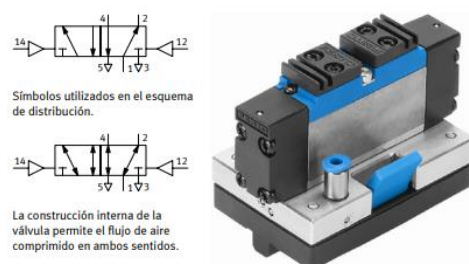


Figura 5 - Válvula biestable 5/2 [9].

## VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL

Una válvula de control o válvula de regulación es una válvula usada para controlar el flujo de un fluido, comportándose como un orificio de área continuamente variable, que modifica la pérdida de carga, según lo dirigido por la señal de un controlador.<sup>1</sup> Esto permite el control del caudal y el consiguiente control de las variables del proceso tales como ; presión, temperatura y nivel [10].

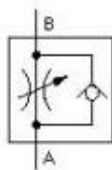


Figura 6 - Símbolo de una válvula reguladora de caudal [11]

## CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE(PLC)

Un PLC (controlador lógico programable) también conocido como autómata programable es aquél que realiza funciones lógicas, combinacionales y secuenciales, mediante la programación adecuada introducida a través de un software que puede variar según el fabricante [12]



*Figura 7 - Controlador Lógico Programable SIEMENS [13]*

## BRAZO ROBÓTICO

Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo. Las partes de estos manipuladores o brazos son interconectadas a través de articulaciones que permiten tanto un movimiento rotacional (tales como los de un robot articulado), como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal [14].



*Figura 8 - Brazo robótico [15]*

## PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS

PROFIBUS define las características técnicas de un sistema de bus de campo en serie, mediante el cual los dispositivos de automatización digital distribuidos, desde el campo hasta el nivel de la celda, pueden conectarse en red. PROFIBUS es un sistema multimaestro que permite la operación combinada en un bus de varios sistemas de automatización, ingeniería y visualización con periféricos remotos. PROFIBUS logra esto al diferenciar entre varios tipos de dispositivos. PROFIBUS se basa en estándares internacionales reconocidos. La arquitectura de protocolo sigue el modelo de referencia OSI (interconexión de sistema abierto), de acuerdo con el estándar internacional ISO 7498(ref16) [16] .

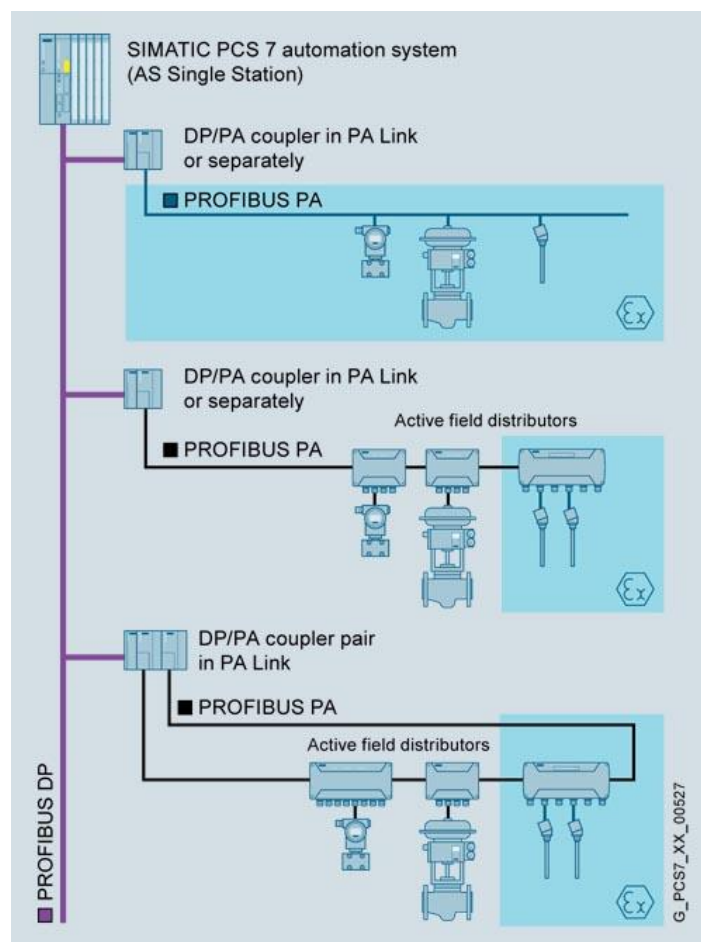


Figura 9 - Protocolo de comunicación Profibus. [16]

## CAPÍTULO 2: DISEÑO DE LAS ESTACIONES

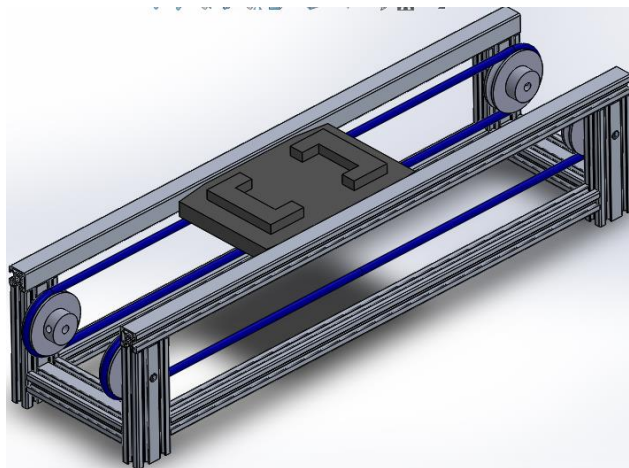
En este capítulo se va a describir el proceso llevado a cabo, para el diseño de cada una de las estaciones complementarias a la celda de manufactura. Para esto, se utilizó como referencia una porción de la banda transportadora, con el fin de tener precisión en la dimensión de todos los elementos, los cuales fueron diseñados en un software CAD (Diseño Asistido por Computador por sus siglas en inglés).

El software utilizado para el desarrollo de cada uno de los diseños y ensambles mecánicos fue Solidworks.

En la figura 10, se observa el mecanismo de transporte utilizado en la celda de manufactura, para cada una de las estaciones, este mecanismo se replicó en el software para tener las medidas exactas y así poder diseñar cada una de las estaciones que se fijan en el mismo.

Este sistema de transporte consta de 4 poleas, las cuales van unidas a través de una banda elástica, a su vez se tienen otras estructuras las cuales tienen un motor para controlar el movimiento en cada estación.

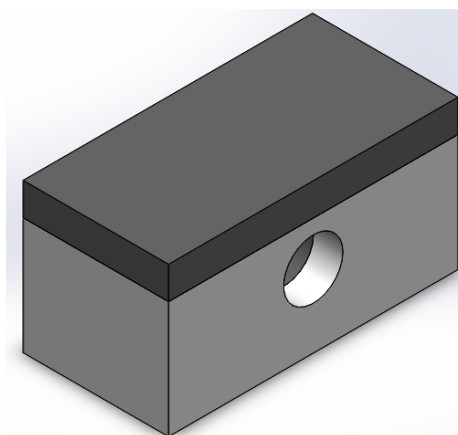
Para poder transportar las piezas a manufacturar a lo largo de la banda, es necesario un pallet, el cual es una bandeja donde se depositan cada una de las partes de la pieza mientras recorre cada una de las estaciones.



*Figura 10 - Sistema de transporte de la celda.*

## 2.1 DISEÑO DEL ENSAMBLADOR DE PINES

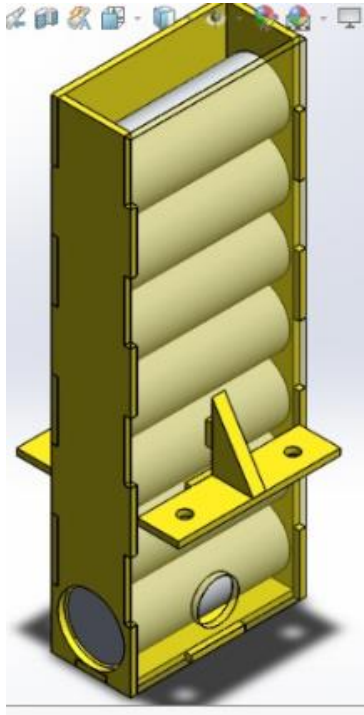
El ensamblador automático de pines consiste en una estación la cual se encarga de fijar un pin entre la tapa y la caja para que estos queden totalmente unidos. En el software se elaboró a escala real la tapa y la caja de la celda de manufactura, para tomar medidas y diseñar las piezas necesarias para la construcción de la estación, en la figura 11 se observa el diseño mencionado.



*Figura 11 - Producto sin el pin de ensamble*

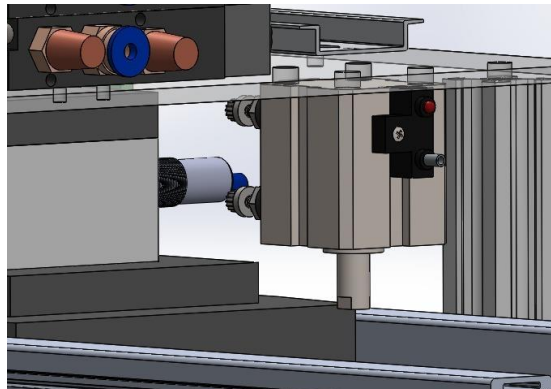
Luego de tomar las medidas y dimensiones del orificio de inserción del pin se elaboró el diseño de un almacén para disponer de cierta cantidad de pines en la estación de ensamble. A su vez, las piezas del diseño se elaboraron tipo lego para facilitar su construcción, se tuvieron en cuenta unos soportes para garantizar ángulos a 90 grados, y también perforaciones para unir el banco con la base de la estación.

En el almacén de pines hay dispuestos dos orificios; el primero está dispuesto para que el cilindro ingrese y deposite el pin en la pieza, y el segundo está ubicado en función del sensor inductivo el cual detecta la presencia de los pines o ausencia de estos.



*Figura 12 - Almacén de pines*

Debido a la necesidad de utilizar un cilindro para detener el pallet, se optó por usar un cilindro doble efecto, el cual cuenta con un diámetro de 20 mm y una carrera de 10 mm. Su funcionamiento se observa en la figura 13.

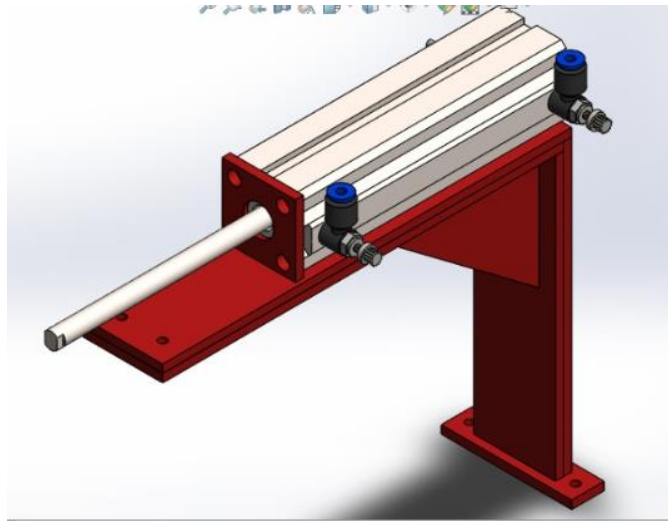


*Figura 13 - Cilindro de parada.*

El propósito principal de esta estación es ensamblar el pin en la pieza, y para esto se ha implementado un cilindro de doble efecto, el cual cuenta con un diámetro de 20 mm y una carrera de 100 mm. A este cilindro se le diseñó una base en acrílico, la cual va acoplada a la celda de manufactura, mediante unos tornillos con tuerca tipo T, garantizando así la estabilidad del cilindro. Esta base se diseñó con las medidas correspondientes tanto de altura del actuador y alcance del vástago al

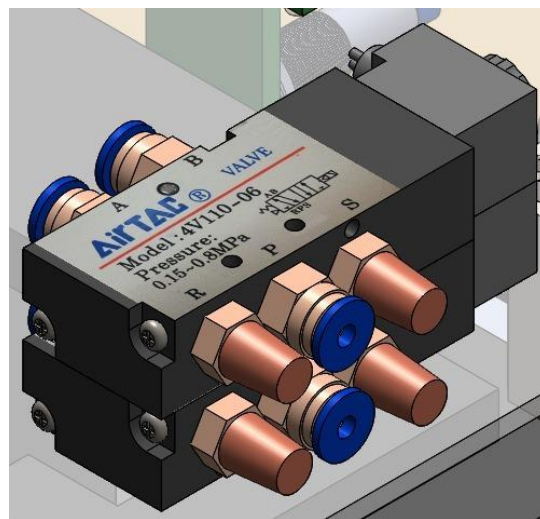


momento de empujar el pin para insertarlo en la pieza. En la figura 14 se puede apreciar el cilindro sobre la base de acrílico.



*Figura 14 - Cilindro ensamblador*

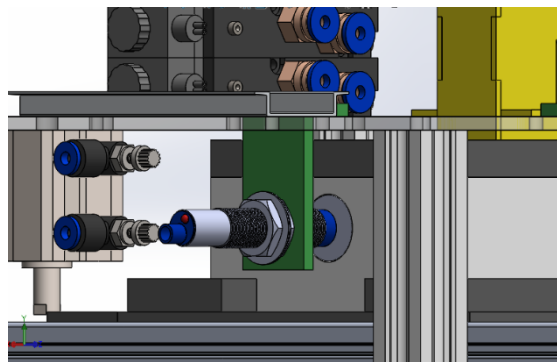
Para el accionamiento de los cilindros es necesario el uso de dos electroválvulas monoestables 5/2. Estas fueron diseñadas en el programa CAD con las medidas reales de las electroválvulas adquiridas en el mercado para poder ensamblarlas a la base junto con los demás elementos de la estación. Estas se fijan a la base con tornillos y se ubican en un punto estratégico para que los canales neumáticos no interfieran con los otros subprocesos de la celda. El diseño de la electroválvula se puede apreciar en la figura 15.



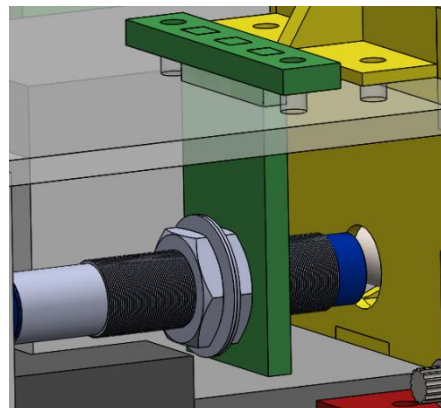
*Figura 15 - Electroválvula monoestable 5/2*

Se diseñó la estación contando con dos sensores inductivos, cuyo propósito es detectar la ausencia o presencia de pines en el almacén y el momento en el que el pin es ingresado en la pieza. Estos se ubicaron en el inferior lateral izquierdo del almacén, justo a nivel del pin próximo a ensamblar y perpendicular a la pieza, concéntrico con el orificio. En las figuras 16 y 17 se puede apreciar la disposición de ambos sensores.

Se escogieron sensores inductivos ya que el pin es de aluminio y estos tienen buenas características a la hora de detectar metales. Se diseñaron unas bases en acrílico para ajustar cada uno de los sensores y así poder moverlo a través de las tuercas para colocar cada uno en las condiciones de operación esperadas.

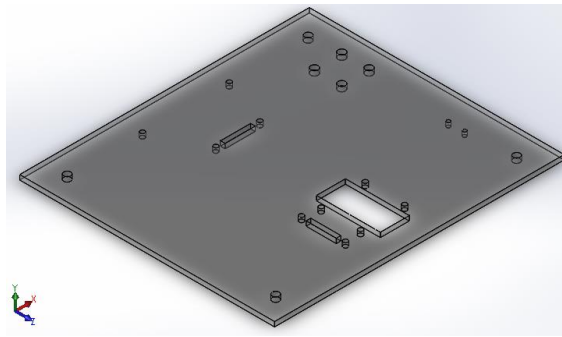


*Figura 16 - Sensor del pin de pieza*



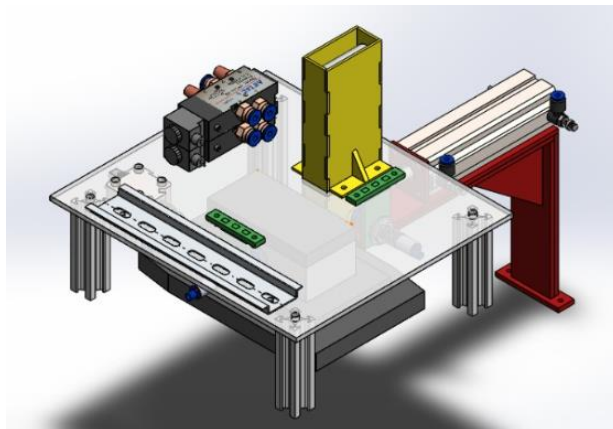
*Figura 17 - Sensor del almacén de pines*

Los elementos de la presente estación se disponen sobre una placa base de acrílico de 4 mm, donde fueron estratégicamente ubicados. Se hicieron los respectivos orificios para adherir los sensores, los actuadores y el almacén de pines.

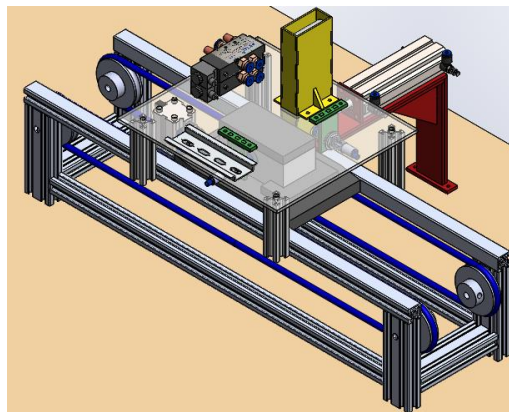


*Figura 18 - Placa base de acrílico*

La placa base con todos los elementos que componen la estación va adherida a la celda de manufactura mediante 4 perfiles de aluminio los cuales se fijan al perfil de celda con tornillos y tuercas tipo T, mientras que el cilindro se sitúa en el soporte, el cual va fijado a la celda por uno de los laterales contiguo al almacén de pines.

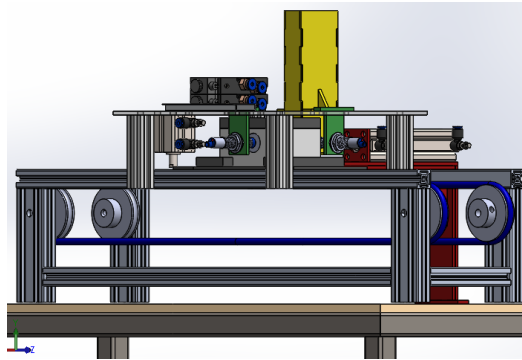


*Figura 19 - Estación de ensamblaje de pines*



*Figura 20 - Estación de pines acoplada a la celda*

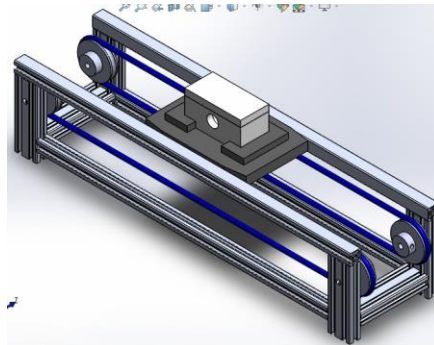
En la figura 21 se logra apreciar otra perspectiva de la estación, donde se visualiza el pistón de parada y el sensor de pieza.



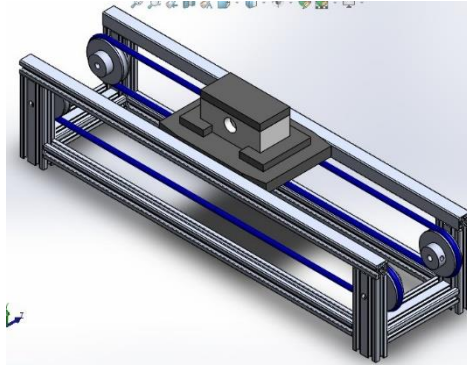
*Figura 21 - Estación de pines, vista posterior*

## **2.2 DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE BRAZO**

La estación de brazo se compone principalmente de un brazo robótico Kawasaki RS003-N, el cual es el encargado de realizar el reproceso referente a un posible producto defectuoso, en este caso, que el color de la tapa y la caja no coincidan, tal como se muestra en la figura 22 (producto sin errores) y en la figura 23 (producto defectuoso). Además, su diseño es similar a la estación de ensamblaje de pines.

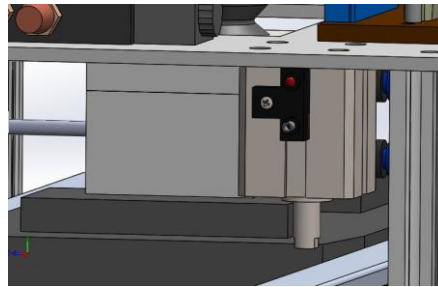


*Figura 22 - Producto sin errores*



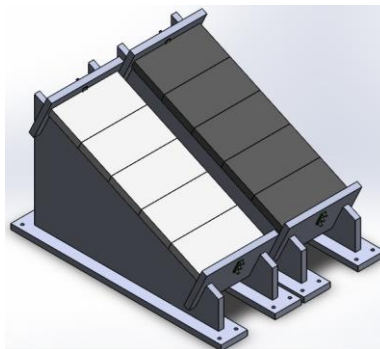
*Figura 23 - Producto defectuoso*

Como se mencionó anteriormente, las dos estaciones poseen componentes similares, uno de ellos es el cilindro de parada, el cual tiene la función de detener el pallet para que el brazo pueda hacer el reproceso.



*Figura 24 - Cilindro de parada de la estación de brazo.*

Se diseñaron dos almacenes para que el brazo tenga a disposición un lote de tapas tanto negras como blancas para poder hacer el respectivo reproceso de llegar a requerirse. Cada almacén cuenta con dos finales de carrera, uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Estos tienen la finalidad de detectar la presencia o ausencia de tapas (sensor inferior) y el momento en el que el almacén se encuentra con su capacidad al máximo (sensor superior).



*Figura 25 - Almacenes de tapas*

El elemento principal de la estación de reproceso es el brazo robótico Kawasaki RS-03N, el cual es implementado para realizar la corrección de las piezas.

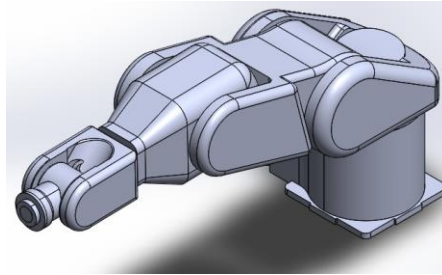
El modelo RS003N es el más pequeño de los robots de la serie R, que está estableciendo el punto de referencia para todos los robots industriales de tamaño pequeño a mediano. El diseño compacto, junto con la velocidad, alcance y rango de trabajo líderes en la industria, hacen que los robots de la serie R sean ideales para una amplia gama de aplicaciones en una multitud de industrias diversas [17].

El brazo robótico cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

| 1. Model                     | RS003N-A  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|------------------------------|---|---|----------------|--------------|--------------------|--------------------|---------|------------------------|------------------|----------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|--------------------|--------|---------|------------------|--------|---------|-------------------|--------|---------|
| 2. Type                      | Articulated robot   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 3. Degree of freedom         | 6 axes  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 4. Max. payload              | 3 kg  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 5. Max. reach                | 620 mm  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 6. Position repeatability    | ±0.02 mm (wrist flange surface) conforms to ISO 9283  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 7. Axis specification        | <table> <tr> <th>Operating axis</th><th>Motion range</th><th>Max. speed</th></tr> <tr> <td>Arm rotation (JT1)</td><td>±160 °</td><td>360 °/s</td></tr> <tr> <td>Arm out-in (JT2)</td><td>+150 ° - -60 °</td><td>250 °/s</td></tr> <tr> <td>Arm up-down (JT3)</td><td>+120 ° - -150 °</td><td>225 °/s</td></tr> <tr> <td>Wrist swivel (JT4)</td><td>±360 °</td><td>540 °/s</td></tr> <tr> <td>Wrist bend (JT5)</td><td>±135 °</td><td>225 °/s</td></tr> <tr> <td>Wrist twist (JT6)</td><td>±360 °</td><td>540 °/s</td></tr> </table> |   | Operating axis | Motion range | Max. speed         | Arm rotation (JT1) | ±160 °  | 360 °/s                | Arm out-in (JT2) | +150 ° - -60 ° | 250 °/s                | Arm up-down (JT3) | +120 ° - -150 ° | 225 °/s                | Wrist swivel (JT4) | ±360 ° | 540 °/s | Wrist bend (JT5) | ±135 ° | 225 °/s | Wrist twist (JT6) | ±360 ° | 540 °/s |
| Operating axis               | Motion range  | Max. speed  |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Arm rotation (JT1)           | ±160 °  | 360 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Arm out-in (JT2)             | +150 ° - -60 °  | 250 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Arm up-down (JT3)            | +120 ° - -150 °   | 225 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Wrist swivel (JT4)           | ±360 °  | 540 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Wrist bend (JT5)             | ±135 °  | 225 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| Wrist twist (JT6)            | ±360 °  | 540 °/s   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 8. Load capacity of wrist    | <table> <tr> <th></th><th>Max. torque</th><th>Moment of inertia*</th></tr> <tr> <td>JT4</td><td>5.8 N·m</td><td>0.12 kg·m<sup>2</sup></td></tr> <tr> <td>JT5</td><td>5.8 N·m</td><td>0.12 kg·m<sup>2</sup></td></tr> <tr> <td>JT6</td><td>2.9 N·m</td><td>0.03 kg·m<sup>2</sup></td></tr> </table> <p>Note * Each value in this table shows allowable moment of inertia of JT4/JT5/JT6 when max. allowed torque is applied to each axis. If more detailed data is required for your application, please contact Kawasaki.</p>       |   |                | Max. torque  | Moment of inertia* | JT4                | 5.8 N·m | 0.12 kg·m <sup>2</sup> | JT5              | 5.8 N·m        | 0.12 kg·m <sup>2</sup> | JT6               | 2.9 N·m         | 0.03 kg·m <sup>2</sup> |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|                              | Max. torque   | Moment of inertia*                                      |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| JT4                          | 5.8 N·m   | 0.12 kg·m <sup>2</sup>                                  |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| JT5                          | 5.8 N·m   | 0.12 kg·m <sup>2</sup>                                  |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| JT6                          | 2.9 N·m   | 0.03 kg·m <sup>2</sup>                                  |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 9. Mass                      | 20 kg (without options)   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 10. Mounting                 | Floor or Ceiling mounting   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 11. Installation Environment | Ambient Temperature: 0 - 45 °C<br>Relative Humidity: 35 - 85 %(with no dew condensation)  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 12. Color                    | Munsell 10GY9/1 equivalent  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 13. Degree of protection     | IP54 equivalent   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 14. Built-in utilities       | Pneumatic piping (φ4 × 2 lines )  |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
| 15. Options                  | Sensor harness  | 4 circuits  |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|                              | Solenoid valve  | Double solenoid / Single solenoid valves (2 units max.) |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|                              | Color   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|                              |   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |
|                              |   |   |                |              |                    |                    |         |                        |                  |                |                        |                   |                 |                        |                    |        |         |                  |        |         |                   |        |         |

Figura 26 – Especificaciones técnicas del brazo robótico [18]

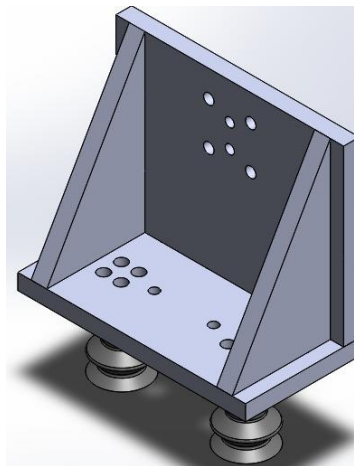
Desde el sitio web de Kawasaki se descargó el diseño CAD del brazo robótico, ya que se necesitaba unir todas las piezas de la estación para tener en cuenta las dimensiones reales y para la simulación como tal del sistema.



*Figura 27 - Diseño CAD del brazo robótico [15]*

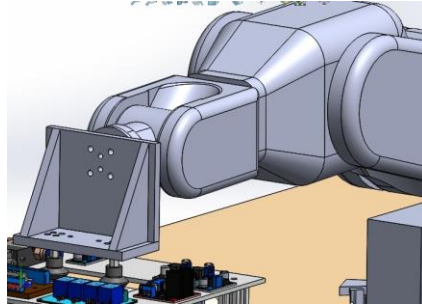
Debido a la necesidad de que la herramienta tipo ventosa del brazo robótico no tenía un soporte para fijarse al mismo, se diseñó un soporte tipo L que cumpliera con las medidas para que le fuera posible el agarre de la pieza tanto en la estación como en el almacén de tapas. En la figura 27 se puede apreciar el soporte diseñado para la ventosa.

En la figura 28 se logra apreciar el brazo entrando a la estación. El soporte tipo L se diseñó además para que el movimiento del brazo en esa zona no fuera tan abrupto y que pudiera ocasionar posibles daños a la lámina de acrílico.



*Figura 28 - Soporte ventosa*

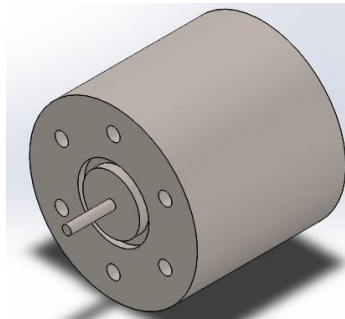




*Figura 29 - Soporte acoplado al brazo*

Al momento de plantear el diseño de la estación no se tuvo en cuenta que las piezas de la celda de manufactura están imantadas, lo que hace que entre ambas haya una fuerza de atracción y al momento del reproceso era muy posible que la ventosa retirara la pieza completa en vez de solo retirar la tapa. Por ende, se diseñó un actuador lineal el cual tiene la función de aprisionar la caja para que el brazo retire fácilmente la tapa.

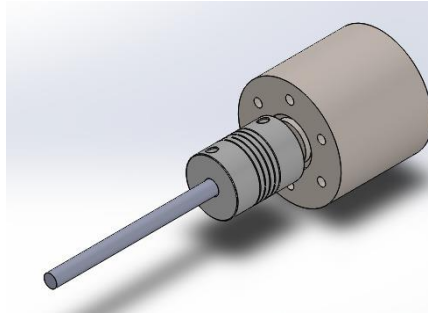
Para poder empezar con el diseño, lo primero que se tuvo en cuenta fue el motor a utilizar, ya que en función de este se diseñarían tanto el soporte como las piezas complementarias. Se contó con un motor eléctrico de 12 VDC como el ilustrado en la figura 30.



*Figura 30 - Diseño del motor en CAD*

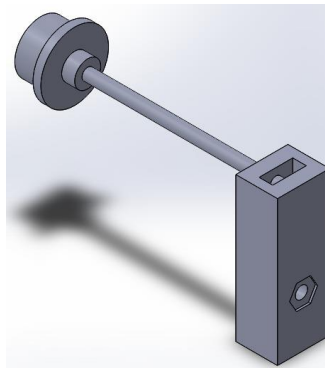
Al motor se le colocó un acople flexible para unirlo a un eje roscado el cual tiene la función de desplazar linealmente el tapón que va a aprisionar la pieza. En la figura 31 se ilustra la unión del motor con el acople y el eje.





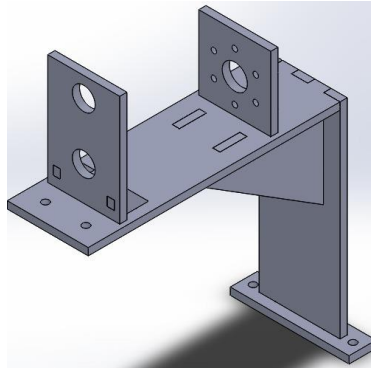
*Figura 31 - Unión del motor con el acople y el eje.*

En vez de otorgarle una altura extra al motor se optó por diseñar un acople, el cual une al tapón encargado de aprisionar la pieza con el eje de desplazamiento del actuador lineal. A este acople se le hicieron unas perforaciones. La pieza se diseñó en CAD para imprimir en una impresora 3D, ya que el material usado (PLA+) aporta poco peso brindando así una masa despreciable al actuador lineal. En la figura 32 se ilustra el acople junto al tapón.



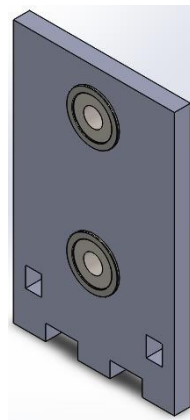
*Figura 32 - Acople de tapón con el eje del actuador.*

El actuador lineal debe cumplir con una altura específica para poder que el tapón ingrese en el orificio de la pieza. Para esto se diseñó un soporte en acrílico que no solo se hizo para que quedara a la altura exacta, sino también adaptarlo para ubicar al motor y demás componentes del actuador lineal. En el soporte se ubicaron dos piezas verticales, una para el motor y otra tanto para el eje roscado como para el eje de tapón. En la figura 33 se visualiza el diseño de soporte del actuador.



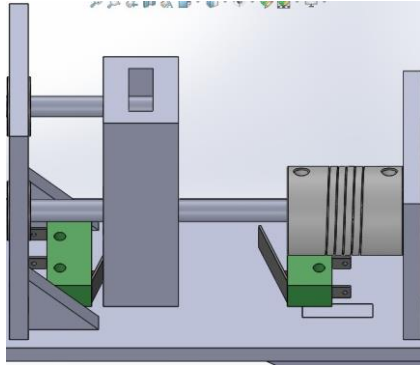
*Figura 33 - Soporte del actuador lineal.*

Se utilizaron dos balineras en el soporte vertical de los dos ejes horizontales, una para la rotación del eje roscado, y otra para el desplazamiento del acople del eje de tapón. En la figura 34 se visualiza la pieza anteriormente mencionada.



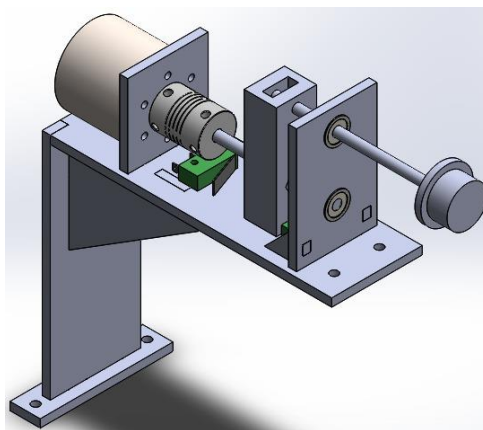
*Figura 34 - Soporte vertical de ejes*

Se diseñaron dos finales de carrera los cuales van a los dos extremos del actuador lineal. Este diseño fue pensado para garantizar las distancias de operación, y así evitar posibles daños mecánicos de la estructura. En la figura 35 se logran apreciar los dos finales de carrera situados a los extremos del rango de desplazamiento.



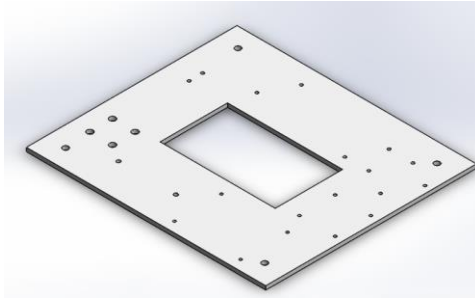
*Figura 35 - Finales de carrera ubicados en el soporte del actuador.*

En la figura 36 se visualiza como quedaron distribuidos cada uno de los componentes del actuador lineal a lo largo del soporte. También se aprecian los orificios tanto a los extremos de la parte vertical como de la horizontal, por los cuales pasan los tornillos que fijan el actuador lineal tanto a la celda como a la mesa.



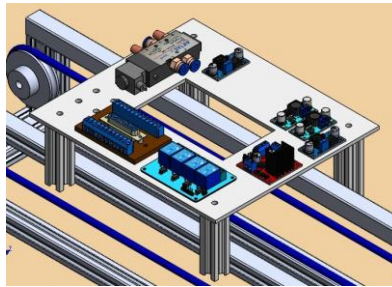
*Figura 36 – Actuador lineal.*

La placa base de acrílico se diseñó con una abertura de dimensiones ligeramente mayores al área de la tapa, esto con el fin de evitar colisiones en el momento en el que el brazo remueva o coloque la pieza. Al igual que en la estación de pines, se diseñaron los agujeros en los cuales se van a fijar cada uno de los elementos de manera que el cableado eléctrico y neumático no interfiera ni con la operación del brazo ni con el paso del pallet por la estación. En la figura 37 se visualiza la placa base de la estación de brazo.

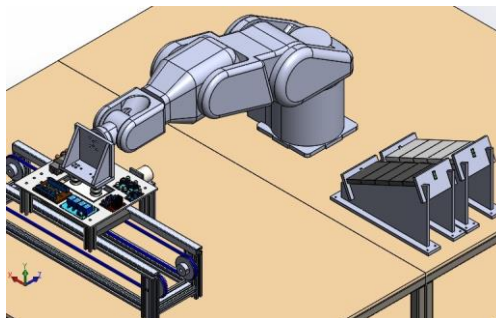


*Figura 37 - Placa base de la estación de brazo*

En la placa base van ubicados dos circuitos elevadores y uno reductor, un módulo tipo puente H, un módulo de relés, un módulo de entradas y salidas y una electroválvula monoestable 5/2. Además, va fijada a la celda de manufactura mediante perfilera de aluminio la cual se une con los perfiles de la celda con tornillos y tuercas tipo T, para garantizar la estabilidad de la estación sin necesidad de perforar la celda. En la figura 38 se puede ver la placa y sus elementos acoplada a la celda y en la figura 39 se puede ver la estación completa, con el brazo robótico el cual es el elemento principal, y los almacenes de tapas.



*Figura 38 – Placa base con todos los elementos acoplada a la celda.*



*Figura 39 - Diseño completo de la estación de brazo*

## CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES

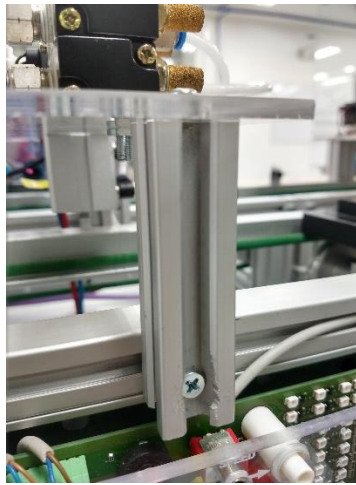
### 3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE ENSAMBLAJE DE PINES

El ensamblador automático de pines se construyó en base al diseño mostrado en el capítulo anterior y se utilizó acrílico en su fabricación, de 2mm para el almacén de pines y de 4mm para la base donde van situados los actuadores, sensores, y el mismo almacén. Para el almacén de pines se pensó fabricarlo en acrílico de un mayor calibre, pero de haber sido así hubiera obstruido el paso del pallet con la caja por la estación, ocasionando así una colisión con el almacén.



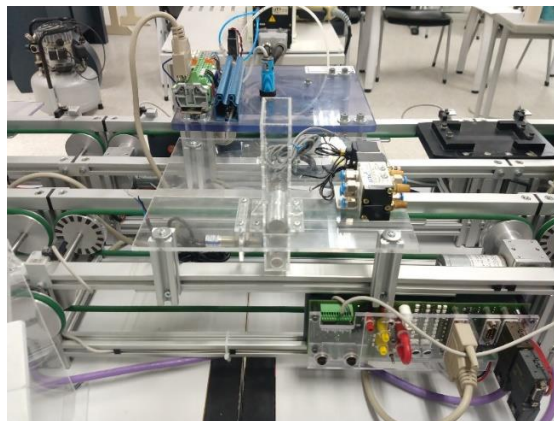
*Figura 40 - Placa base de la estación de pines previo a su instalación en la celda*

Se utilizó perfilería de aluminio para fijar la base de acrílico a la celda de manufactura. Al momento de cortar la perfilería con las respectivas medidas, sus extremos no estaban a cero grados, es decir, presentaban desnivel y esto perjudicaba principalmente el actuador de la estación, ya que era posible que el vástago del cilindro no entrara en el almacén para depositar el pin en la pieza. Además, debido al poco margen de error en la distancia entre la placa de acrílico y la banda transportadora, cualquier desnivel podría ocasionar que el pallet colisionara con uno de los extremos de la estación. Además, Para poder fijarlos a la celda con tornillos se tuvieron que mecanizar los orificios y generarles la rosca para poder que el tornillo pudiera sujetarlo. En la figura 41 se visualiza un perfil de aluminio de la estación de ensamblaje de pines.



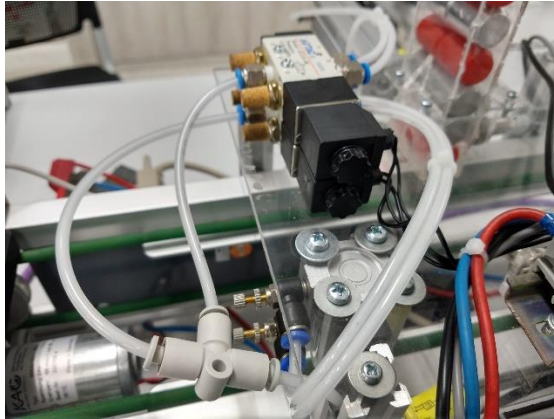
*Figura 41 - Perfil de aluminio de la estación de pines*

Una vez alineados los perfiles y adheridos a la placa, se empezó a determinar cuál ubicación iba a resultar conveniente para la estación teniendo en cuenta el acoplamiento del actuador y que el cableado no fuera a interferir con algún otro proceso de la celda. En la figura 42 se visualiza la estación en el momento en el que fue fijada a la celda.



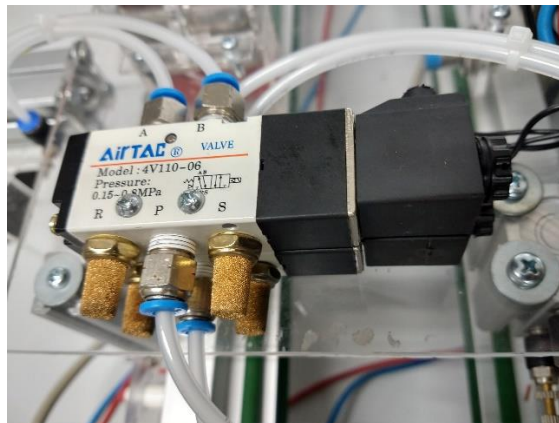
*Figura 42 - Estación de pines recién fijada a la celda*

Después de tener instalada la placa base de la estación a la celda de manufactura, se procedió a realizar el montaje y distribución de los canales neumáticos de la estación. Como los canales neumáticos de la celda solo llegaban hasta la estación 4, fue necesario sacar otra línea que llegara hasta la estación de pines para la alimentación de la electroválvula. Para esto fue necesario instalar mangueras neumáticas y acoples tipo T. En la figura 43 se muestra la distribución neumática y las entradas de la electroválvula.



*Figura 43 - Distribución electroneumática de la estación de pines*

La función principal de la electroválvula es distribuir el aire por los actuadores de la estación que lo requieran. En la figura 44 se ilustra la electroválvula de la estación de pines.



*Figura 44 - Electroválvula de la estación de pines*

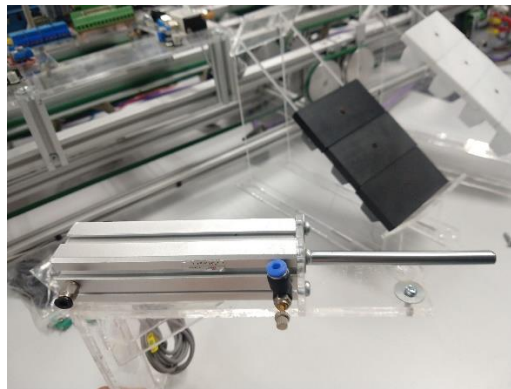
Uno de los actuadores que abastece la electroválvula es el cilindro de parada, el cual tiene la función de detener el pallet. Es un cilindro neumático de doble efecto, el cual tiene una carrera de 10 mm y está ubicado de forma que el orificio de la pieza quede ubicado concéntrico con el vástago del cilindro de ensamble. En la figura 45 se visualiza el cilindro de parada.





*Figura 45 - Cilindro de parada de la estación de pines.*

El otro actuador alimentado por la electroválvula es el cilindro de ensamble, el cual es el principal elemento de esta estación, ya que es el que empuja el pin hacia la pieza. Para instalar este actuador se hizo primero el montaje de los canales neumáticos, ya que para darle una ubicación adecuada era necesario avanzar y retroceder el vástago para poder situarlo en un punto concéntrico con la abertura del almacén de pines. Se situó en un soporte para que quedara al nivel del almacén y se fijó a la celda con dos acoples tipo L y tornillos con tuerca tipo T. En la figura 46 se visualiza el cilindro de ensamble previo a su instalación en la celda.

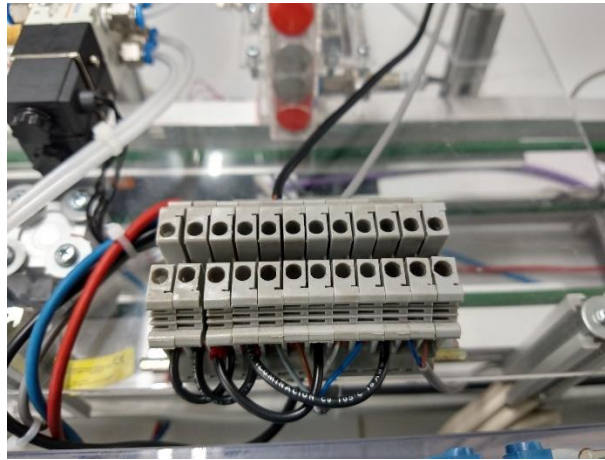


*Figura 46 - Cilindro de ensamble de la estación de pines*

Después de haber instalado tanto el actuador principal como los canales neumáticos, se procedió a realizar las conexiones eléctricas, además de alimentar los diferentes elementos de la estación, también se realizaban las respectivas conexiones para que elementos como los sensores inductivos enviaran la señal al PLC por medio de la tarjeta de comunicación. Para hacer estas conexiones se dispusieron unas borneras soportadas por un riel din, las cuales no solo distribuyen las entradas y salidas de la presente estación, sino también las entradas y salidas

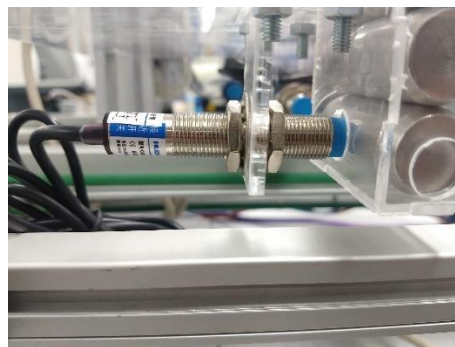


de la estación de brazo. En la figura 47 se visualiza el conjunto de borneras de entradas y salidas compartido por las dos estaciones.



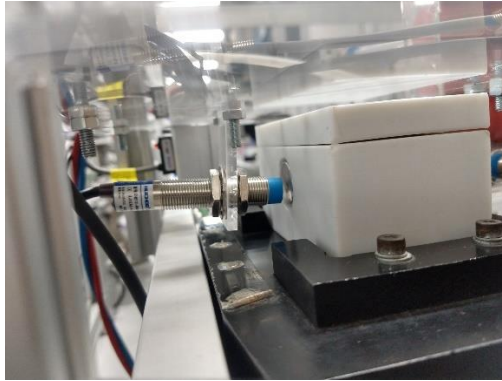
*Figura 47 - Conjunto de borneras de distribución de entradas y salidas*

Dentro del circuito de control se encuentran dos sensores inductivos. El primero tiene la función de detectar la presencia de pines en el almacén o la ausencia de estos y se dispuso lateralmente donde el almacén cuenta con un orificio para que el sensor pueda cumplir su propósito. En la figura 48 se ilustra el sensor inductivo del almacén de pines.



*Figura 48 - Sensor inductivo del almacén de pines*

Concéntrico al orificio de la caja se encuentra el otro sensor inductivo, el cual se encarga de enviar el 1 lógico una vez ingresa el pin en la pieza para que el vástago del cilindro retorne a su posición inicial. En la figura 49 se visualiza el sensor inductivo de pieza.



*Figura 49 - Sensor inductivo de pieza*

El cilindro ensamblador de pieza también cuenta con accionamiento eléctrico, el cual consta de un sensor inductivo interno que detecta cuando el vástago ha vuelto a su posición inicial. Lo anterior se visualiza en la figura 50, donde también se puede apreciar el cilindro ya acoplado a la estación.

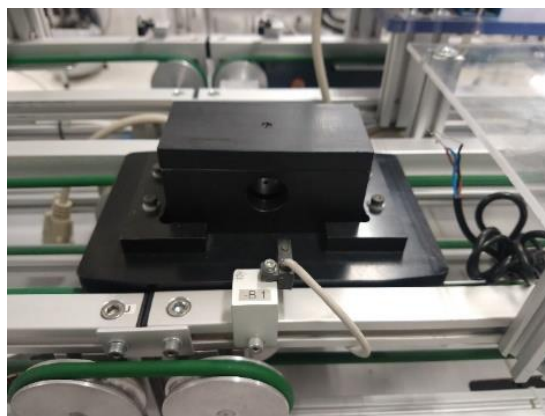


*Figura 50 - Cilindro ensamblador acoplado a la estación*

La estación cuenta con dos sensores magnéticos, uno al inicio del subproceso y otro al final. Estos sensores son los que envían el 1 lógico para que el proceso realizado por la estación se ejecute. El pallet cuenta con un contacto magnético en el lateral derecho, el cual entra en el campo de detección del sensor a la entrada y acto seguido el cilindro de parada extiende el vástago para detener el pallet mientras se detiene la banda transportadora. Una vez la pieza ha sido unida con el pin sale de la estación y entra en contacto con el segundo sensor magnético dando el proceso por concluido. En la figura 51 se visualiza el sensor magnético de entrada de la estación de pines. En la figura 52 se puede apreciar el momento en el que el pallet pasa por el sensor.

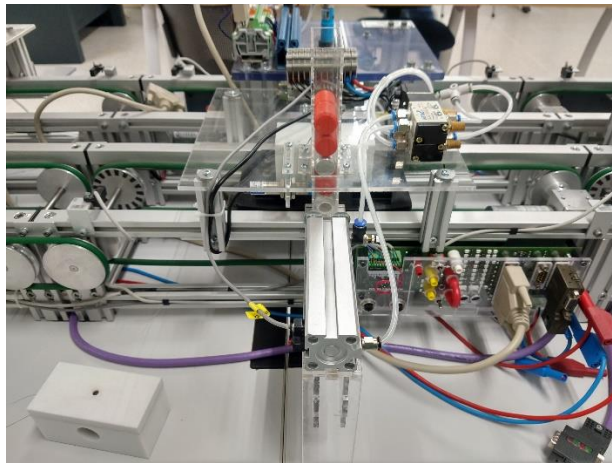


*Figura 51 - Sensor magnético de entrada de la estación de pines*



*Figura 52 - Momento en el que el pallet pasa por el sensor magnético*

En el proceso de construcción de la estación de ensamblaje de pines no se tuvieron mayores contratiempos, sin embargo, se tuvo que reforzar el almacén de pines para que fuera resistente al impacto de la caída de los mismos. Habiendo hecho todas las instalaciones y las pruebas pertinentes, la estación de ensamblaje de pines se dio por concluida. Se puede visualizar en la figura 53 y 54.



*Figura 53 - Estación de ensamble de pines concluida*



*Figura 54 - Estación de ensamble, vista lateral*

### 3.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE BRAZO

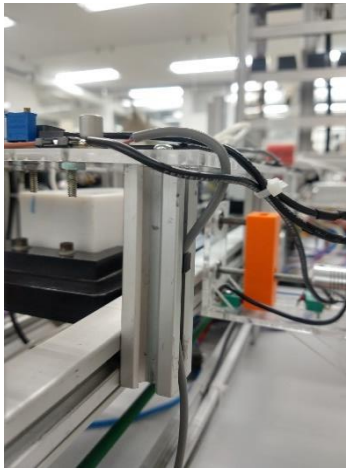
La estación de brazo robótico se construyó en base al diseño mostrado en el capítulo anterior. Para la placa base se utilizó acrílico de 4mm, en la misma placa inicialmente se ubicaron los siguientes elementos: una válvula electroneumática, un módulo tipo puente H, un módulo de relés y un cilindro de doble efecto. La placa posee una abertura la cual tiene un área ligeramente mayor al de la tapa de la pieza. En la figura 55 se visualiza la placa base de la estación de brazo robótico.



*Figura 55 – Placa base de la estación de brazo*

Al igual que en la estación de pines, en esta estación se emplearon perfiles de aluminio para su soporte y para fijarlos a la celda. A los perfiles se les hizo el respectivo proceso de alineación y posterior mecanizado para poderlos fijar con tornillos a la placa. En la figura 56 se visualiza un perfil de la estación de brazo.

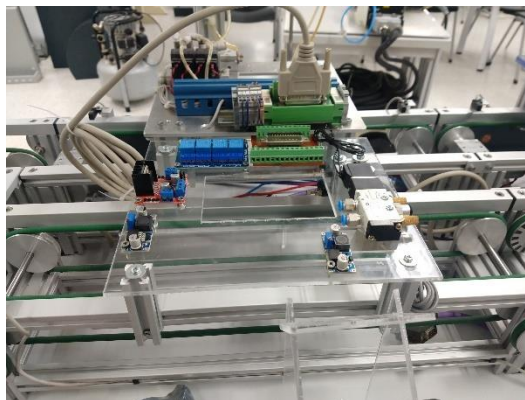




*Figura 56 - Perfil de la estación de brazo*

Inicialmente se tenía planeado ubicar la estación de brazo robótico justo después de la estación de reconocimiento. Se pretendía descartar la estación de manipulación, la cual ejerce la función de descartar la pieza en caso de que esta presente errores. La razón por la cual se quería discontinuar esta estación es porque mientras en la estación de brazo se realiza el reproceso sobre la marcha, esta retira la pieza completa y da por finalizado su ciclo. Esto no se pudo llevar a cabo ya que no fue permitido por parte del programa retirar una estación que venía de fabrica con la celda.

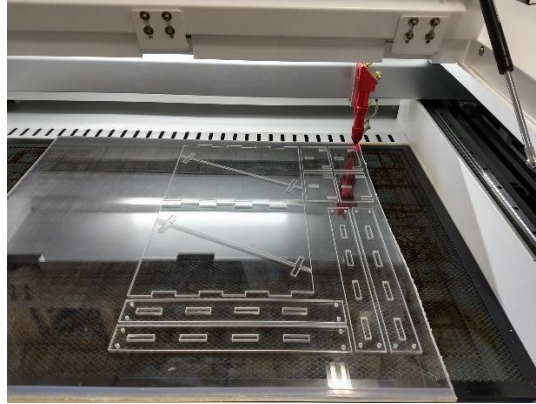
Por tanto, la estación de brazo robótico se ubicó justo después de la estación de manipulación. En la figura 57 se visualiza la placa base de la estación de brazo en el momento de su instalación en la celda.



*Figura 57 - Estación de brazo al momento de su instalación en la celda*

Después de tener la estación fija en la celda se procedió a elaborar los almacenes de tapas para ponerlas a disposición del brazo. Para esto se utilizó acrílico de 8 mm y una cortadora láser la cual facilitó la obtención de las piezas. Después se procedió a unir las piezas y para esto se utilizó cloruro de metileno, el cual es una solución

usada para fijar piezas en acrílico. En la figura 58 se visualizan las piezas todavía en la lámina de acrílico, mientras que en la figura 59 se visualizan los almacenes ya contruidos.

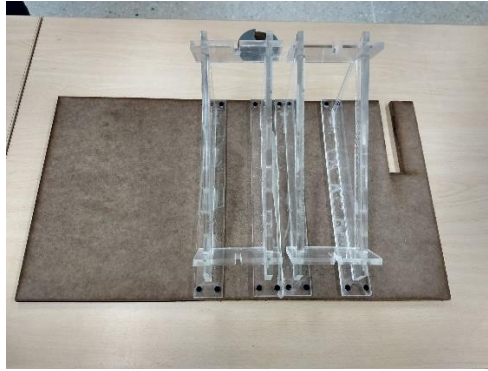


*Figura 58 - Piezas de los almacenes de tapas recién cortadas sobre la lámina de acrílico*



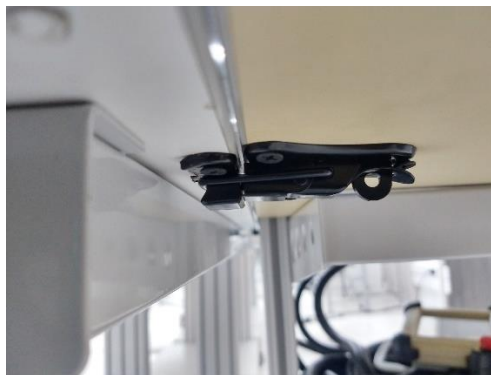
*Figura 59 - Almacenes de tapas ya contruidos*

Debido a que no fue posible atornillar los almacenes de tapas directamente a la mesa del brazo robótico por cuestiones de espacio, se optó por fijarlos en una lámina de MDF y esta fijarla a la mesa del brazo con prensas tipo C. En la figura 60 se puede apreciar la placa extensora con los almacenes de tapas ya fijados.



*Figura 60 – Placa extensora de la mesa del brazo.*

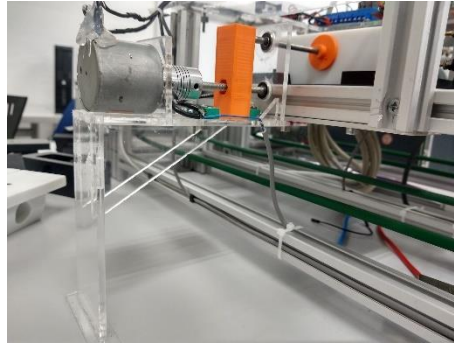
Como la programación del brazo se basa en algoritmos de posición, la ubicación de los elementos debe ser muy exacta, por tal motivo, se fijaron unos acoples tanto a la mesa del brazo como a la mesa de la celda de manufactura, esto con dos propósitos: el primero es garantizar siempre la misma posición y el segundo es evitar que la mesa del brazo se mueva durante el proceso. En la figura 61 se visualiza una de las uniones entre las dos mesas.



*Figura 61 - Unión entre la mesa de la celda y la mesa del brazo*

Se finalizó la etapa de instalación fijando el actuador lineal a la celda, verificando que el tapón entrara correctamente en el orificio de la pieza. En la figura 62 se visualiza el actuador lineal ya acoplado a la celda.



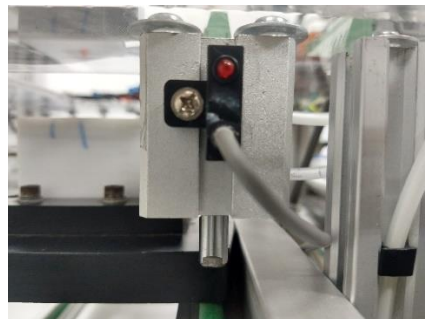


*Figura 62 - Actuador lineal acoplado a la celda*

Después se procedió a hacer las instalaciones neumáticas de la estación, en este caso solo era necesario alimentar un actuador neumáticamente, el cual es el cilindro de parada. Se dispuso una electroválvula para el suministro de aire al cilindro. En la figura 63 se visualiza la electroválvula y en la figura 64 se visualiza el cilindro de parada.



*Figura 63 - Electroválvula de la estación de brazo*



*Figura 64 - Cilindro de parada de la estación de brazo*

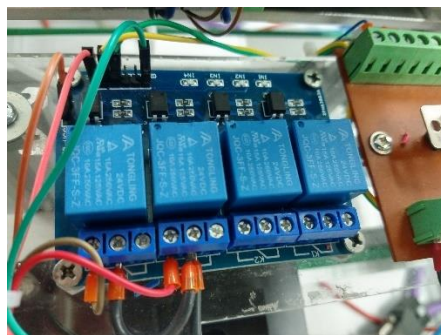
Después de terminar con la parte neumática se procedió a realizar las conexiones eléctricas de la estación. En lo que la estación comprende, tanto el motor del actuador lineal como la electroválvula funcionan a 12 VDC, y la alimentación de la celda proporciona 24 VDC. Por tal motivo, fue necesaria la implementación de 2 módulos reductores de voltaje para poder alimentar los elementos mencionados anteriormente. En la figura 65 se visualiza uno de los módulos reductores de voltaje utilizados.



*Figura 65 - Módulo reductor de voltaje*

Para darle sentido de giro al motor del actuador lineal fue necesario utilizar un módulo puente H y un módulo de relés.

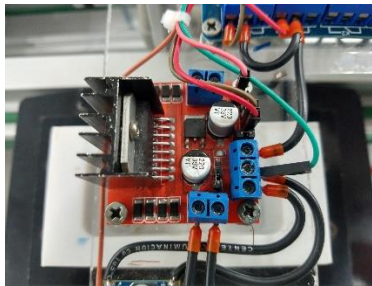
Los relevadores están alimentados a 24 VDC, mientras que su circuito de control está alimentado a 5 VDC, en la figura 66 se visualiza el módulo de relevadores.



*Figura 66 - Módulo de relevadores*

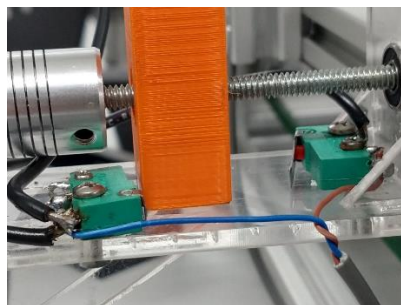
Las salidas normalmente abiertas del módulo de relevadores están conectadas a las 2 entradas del módulo puente H, con el propósito de que cuando el PLC envíe la señal al módulo alguno de los dos se cierre y le de avance o retroceso al actuador

lineal. El puente H se alimenta a 12 VDC y recibe su alimentación de uno de los módulos reductores de voltaje. Las señales de control que recibe del módulo de relevadores llegan a 5 VDC y sus salidas al motor son de 12 VDC. En la figura 67 se visualiza el módulo puente H.



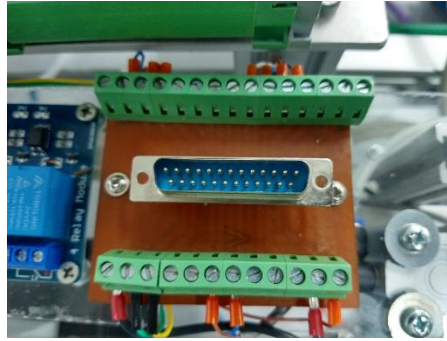
*Figura 67 - Módulo puente H*

La secuencia lógica de las salidas del motor la determinan los dos finales de carrera que están dispuestos a ambos extremos del rango de desplazamiento del actuador lineal y de una salida del brazo robótico. El motor avanza hasta que toca el sensor mecánico, esto hace que el motor se detenga y posteriormente inicia su retroceso una vez el brazo envía la señal, en el retroceso el otro sensor mecánico también envía la señal para que el motor invierta el giro y se detenga en su posición inicial. En la figura 68 se visualizan los finales de carrera del actuador lineal.



*Figura 68 - Finales de carrera del actuador lineal*

Las entradas y salidas de control de la estación se conectan al PLC mediante una tarjeta de comunicación. Para conectar la estación con la tarjeta fue necesaria la implementación de un módulo de entradas y salidas con puerto DB25. En la figura 69 se visualiza el módulo de entradas y salidas de control.



*Figura 69 - Módulo de entradas y salidas de control con puerto DB25*

Una vez realizadas todas las etapas de construcción de la estación de brazo robótico se procedió a programar, primero la parte correspondiente al PLC y segundo la parte correspondiente al brazo robótico. En la figura 70 se visualiza la estación de brazo robótico en su estado final.



*Figura 70 - Estación de brazo robótico finalizada*

## CAPITULO 4: PROGRAMACIÓN COMPLETA DEL SISTEMA

### 4.1 PROGRAMACIÓN DE LA CELDA DE MANUFACTURA HACIENDO USO DE UN PLC

La celda de manufactura del laboratorio de ingeniería mecatrónica se encuentra controlada por un PLC Siemens S7-300. Este PLC cuenta con una CPU 314C-2 DT, y cuenta con múltiples señales de entradas y salidas, entre las cuales se encuentran un mando de control y las señales de las estaciones. En la figura 71 se visualiza el PLC de la celda de manufactura



*Figura 71 - PLC de celda*

El mando de control cuenta con múltiples pulsadores y pilotos luminosos para realizar diferentes combinaciones en la programación, para poder utilizar este se buscó el direccionamiento de cada una de las señales tanto entradas como salidas, en la figura 72 se puede ver el mando y en la tabla 1 el direccionamiento de las señales.

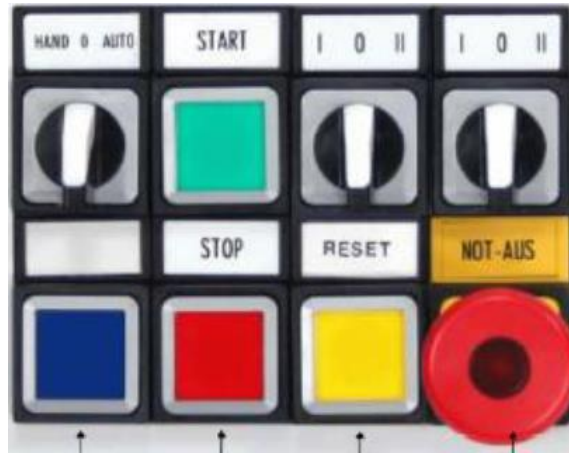


Figura 72 - Mando de control

| Name             | Data Type | Logical Address | Comment                          |
|------------------|-----------|-----------------|----------------------------------|
| <b>MANUAL</b>    | Bool      | %I0.0           | SELECTOR MANUAL                  |
| <b>AUTO</b>      | Bool      | %I0.1           | SELECTOR AUTOMATICO              |
| <b>START</b>     | Bool      | %I0.2           | PULSADOR START                   |
| <b>S1.1</b>      | Bool      | %I0.3           | SELECTOR CON RETORNO POSICION I  |
| <b>S1.2</b>      | Bool      | %I0.4           | SELECTOR CON RETORNO POSICION II |
| <b>S2.1</b>      | Bool      | %I0.5           | SELECTOR FIJO POSICION I         |
| <b>S2.2</b>      | Bool      | %I0.6           | SELECTOR FIJO POSICION II        |
| <b>AZUL</b>      | Bool      | %I0.7           | PULSADOR AZUL                    |
| <b>STOP</b>      | Bool      | %I1.0           | PULSADOR STOP                    |
| <b>RESET</b>     | Bool      | %I1.1           | PULSADOR RESET                   |
| <b>PARO</b>      | Bool      | %I1.2           | PARO DE EMERGENCIA               |
| <b>LED_START</b> | Bool      | %Q0.0           | LED PULSADOR START               |
| <b>LED_AZUL</b>  | Bool      | %Q0.1           | LED PULSADOR AZUL                |
| <b>LED_STOP</b>  | Bool      | %Q0.2           | LED PULSADOR STOP                |
| <b>LED_RESET</b> | Bool      | %Q0.3           | LED PULSADOR RESET               |

Tabla 1 - Tabla de variables del mando de control

El proceso de la celda está dividido en 6 estaciones, donde cada una tiene una función determinada en el proceso. Cada estación cuenta con actuadores mecánicos y sensores que componen las entradas y salidas de control, las cuales son usadas por el PLC para dar paso a la siguiente, o parar el proceso, como las condiciones lo demanden.



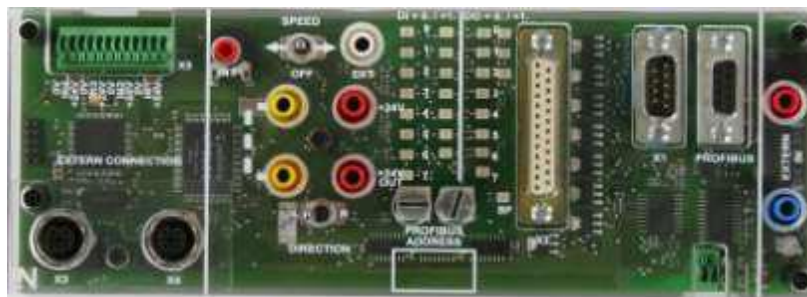
El PLC cuenta con una red MPI, la cual está desarrollada sobre la capa física RS485, esta es propia de Siemens y es la que permite programar el PLC, para ello se utiliza un adaptador USB/MPI, el cual conectara el computador y el PLC.

Luego, a través del panel de control se tiene un programa para ajustar la interfaz y poder detectar las configuraciones automáticamente, para comunicar ambos dispositivos fácilmente (Ajustar interfaz PG/PC (32 bits)).

Después se procede a iniciar el software de TIA PORTAL V15.1, en la cual se crea un nuevo proyecto, se selecciona el dispositivo a programar que en este caso sería el PLC S7300 con su respectiva CPU.

Posteriormente, se establece la comunicación con el PLC para garantizar una conectividad estable entre ambos dispositivos, y así proceder con el resto de los dispositivos a agregar y la programación.

Como se menciona anteriormente, la programación y comunicación con el PLC se realiza a través de una red MPI, pero cabe resaltar que cada una de las estaciones de la celda de manufactura cuenta con un esclavo PROFIBUS DP Lucas-Nülle, a través de este se realiza una red de tipo PROFIBUS, en la cual se tiene un maestro el cual en este caso es el PLC y unos esclavos que serían cada una de las tarjetas. Por cada estación se tiene una tarjeta de este tipo la cual tiene la función de incrementar las entradas y salidas del PLC a través de comunicaciones y así tener un control en cada una de las estaciones. En la figura 73 se puede visualizar la tarjeta mencionada.



*Figura 73 - Tarjeta esclavo PROFIBUS DP*

Teniendo esto claro, se procede a añadir en el software de TIA PORTAL cada uno de los dispositivos que intervienen en la programación, entre los cuales están el PLC y las tarjetas, esto se debe hacer para realizar la comunicación entre tarjetas y con el PLC, luego de insertar los componentes se realiza la configuración respectiva para cada una de las tarjetas y así tener claro cuál funciona para cada estación. En la figura 74 se puede ver el diagrama de conexiones entre estos dispositivos.





A continuación, se mostrarán cada una de las configuraciones y desarrollos que se llevaron a cabo para cada una de las estaciones del Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica.

#### 4.1.1 ESTACIÓN DE SEPARACIÓN

La estación de separación consiste en depositar una caja independientemente de su color sobre el pallet. Este proceso se hace posible gracias a los diferentes actuadores y sensores que tiene dicha estación. Esta estación cuenta con dos sensores magnéticos a la entrada y a la salida, también cuenta con un final de carrera para detectar la presencia de cajas en el almacén o la ausencia de las mismas. Además, cuenta con un sensor magnético para detectar la posición de retroceso del cilindro de parada, el cual es el encargado de frenar el pallet previo a que se des energice la banda transportadora. Como salidas de la estación se tienen dos electroválvulas, las cuales controlan los dos cilindros presentes en este subproceso. Una electroválvula controla el cilindro de parada, y la otra controla el cilindro que deja caer la pieza. Finalmente, se cuenta con el control de hacer avanzar o retroceder el motor que mueve el pallet a lo largo de la estación. En la figura 76 se visualiza la estación de separación.

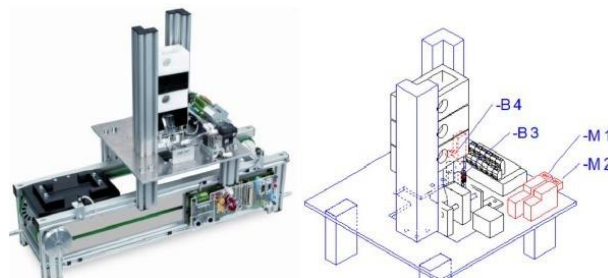


Figura 76 - Estación de separación.

Para realizar la programación, se debió indagar a través de manuales y verificaciones en esta estación cuales eran las direcciones para las entradas y salidas, las cuales se muestran en la tabla 2.

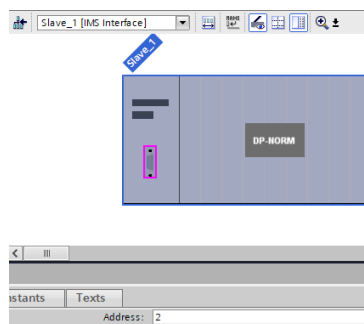
| Name           | Data Type | Logical Address | Comment                            |
|----------------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| <b>IZQ_E1</b>  | Bool      | %I4.3           | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 1        |
| <b>DER_E1</b>  | Bool      | %I4.4           | SENSOR DERECHO ESTACION 1          |
| <b>SCIL_E1</b> | Bool      | %I3.2           | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E1 |
| <b>SPIE_E1</b> | Bool      | %I3.3           | SENSOR DE PIEZAS ESTACION 1        |

|                  |      |       |  |
|------------------|------|-------|--|
| <b>CILPAR_E1</b> | Bool | %Q3.0 | CILINDRO PARADA ESTACION 1                 |
| <b>CILPIE_E1</b> | Bool | %Q3.2 | CILINDRO PIEZAS ESTACION 1                 |
| <b>AVAMOT_E1</b> | Bool | %Q4.0 | AVANCE MOTOR ESTACION 1                    |
| <b>REVMOT_E1</b> | Bool | %Q4.1 | RETROCESO MOTOR ESTACION 1                 |
| <b>TEMP1</b>     | Bool | %M0.0 | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION<br>1        |
| <b>TEMP2</b>     | Bool | %M0.1 | TIEMPO CILINDRO PIEZA ESTACION<br>1        |
| <b>TEMP3</b>     | Bool | %M0.2 | TIEMPO CAIDA PIEZA ESTACION 1              |
| <b>TEMP5</b>     | Bool | %M0.4 | TIEMPO ADICIONAL MOTOR BANDA<br>ESTACION 1 |

*Tabla 2 - Tabla de variables - Estación de separación*

También se utilizaron unas memorias para dar uso a temporizadores, en los diferentes pasos que tiene esta estación.

Para la comunicación entre los dispositivos, se definió tanto en hardware como en software una dirección 2 en profibus, a su vez se utilizaron los bytes 3 y 4 para el manejo de las señales en esta estación, en la figura 77 se aprecia el direccionamiento dado.



*Figura 77 - Direccionamiento PROFIBUS - Estación de separación*

Como se mencionó anteriormente, la programación en el sistema se hizo bajo el lenguaje de programación grafcet, el cual es usado en programadores lógicos controlados. A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la estación de separación.



Figura 78 - Diagrama de flujo de la estación de separación

A continuación, se explica a detalle cada etapa, transición y acciones que tiene la programación de la estación de separación.

En la etapa 1, llamada también etapa de inicio, se tienen las condiciones iniciales del proceso, entre los cuales se encuentran:

- El apagado de los pilotos del mando de control
- Reinicio de las memorias que almacenan las señales para el cambio de color de la tapa, presencia de pin y producto correcto
- El apagado del motor de la última estación
- Se enciende el piloto “RESET” del panel de control, ya que es el botón para accionar, previo a la siguiente etapa

En la figura 79 se aprecia la programación de dichas acciones mencionadas anteriormente, y en la figura 80 se observa la transición a la siguiente etapa a través del botón “RESET”.

| S1 - [Initial step]: Step1 |       |            |                |                |
|----------------------------|-------|------------|----------------|----------------|
| Comment                    |       |            |                |                |
| ► Interlock (c)-: .....    |       |            |                |                |
| ► Supervision (v)-: .....  |       |            |                |                |
| ▼ Actions: .....           |       |            |                |                |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action         |                |
|                            |       | S -Setto 1 | "LED_RESET"    | "LED... %Q0.3  |
|                            |       | R -Setto 0 | "LED_AZUL"     | "LED... %Q0.1  |
|                            |       | R -Setto 0 | "LED_PARO"     | "LED... %Q0.4  |
|                            |       | R -Setto 0 | "LED_START"    | "LED... %Q0.0  |
|                            |       | R -Setto 0 | "LED_STOP"     | "LED... %Q0.2  |
|                            |       | R -Setto 0 | "BLANCO"       | "BLA... %M1.3  |
|                            |       | R -Setto 0 | "NEGRO"        | "NEGRO" %M1.4  |
|                            |       | R -Setto 0 | "PIN"          | "PIN" %M1.5    |
|                            |       | R -Setto 0 | "OK"           | "OK" %M1.6     |
|                            |       | R -Setto 0 | "AVAMOT_E5_E6" | "AVA... %Q12.1 |

Figura 79 - Etapa 1 - Estación de separación

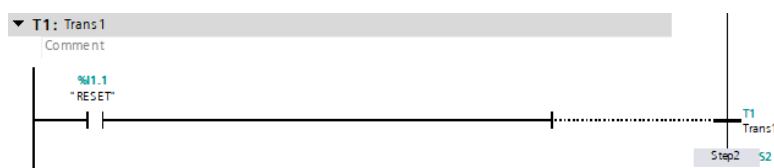


Figura 80 - Transición 1 - Estación de separación

Para la etapa 2, se tienen programadas las condiciones iniciales de la estación de separación, entre las cuales se encuentran:

- Apagado de ambos sentidos de giro del motor.
- Cilindro de parada en reset.
- Cilindro de pieza o cajas en reset
- Apagado del piloto "RESET"
- Encendido del piloto "START", el cual a través de la botonera iniciará la etapa 3.

| S2: Step2                 |       |            |             |               |
|---------------------------|-------|------------|-------------|---------------|
| Comment                   |       |            |             |               |
| ► Interlock (c)-: .....   |       |            |             |               |
| ► Supervision (v)-: ..... |       |            |             |               |
| ▼ Actions: .....          |       |            |             |               |
| Interlock                 | Event | Qualifier  | Action      |               |
|                           |       | R -Setto 0 | "AVAMOT_E1" | "AVA... %Q4.0 |
|                           |       | R -Setto 0 | "REVNOT_E1" | "REV... %Q4.1 |
|                           |       | R -Setto 0 | "CILPAR_E1" | "CIL... %Q3.0 |
|                           |       | R -Setto 0 | "CILPIE_E1" | "CIL... %Q3.2 |
|                           |       | R -Setto 0 | "LED_RESET" | "LED... %Q0.3 |
|                           |       | S -Setto 1 | "LED_START" | "LED... %Q0.0 |

Figura 81 - Etapa 2 - Estación de separación

Como transición se tiene el botón start, y dos sensores, uno para verificar que el cilindro de parada se encuentre totalmente retraído, y el otro es el final de carrera que detecta la presencia de cajas.

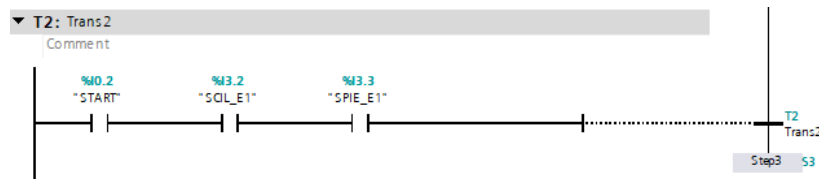


Figura 82 - Transición 2 - Estación de separación

En la etapa 3, se tiene el encendido del motor de la estación en modo avance, para que este arrastre el pallet a lo largo de la estación, a su vez también se apaga el led de start ya que este no es usado.

| S3: Step3                 |       |             |             |               |
|---------------------------|-------|-------------|-------------|---------------|
| Comment                   |       |             |             |               |
| ► Interlock (c)-: .....   |       |             |             |               |
| ► Supervision (v)-: ..... |       |             |             |               |
| ▼ Actions: .....          |       |             |             |               |
| Interlock                 | Event | Qualifier   | Action      |               |
|                           |       | S - Setto 1 | "AVAMOT_E1" | "AVA... %Q4.0 |
|                           |       | R - Setto 0 | "LED_START" | "LED... %Q0.0 |

Figura 83 - Etapa 3 - Estación de separación

En la transición 3 se tiene el sensor izquierdo de la estación, y se vuelve a realizar la verificación de los dos sensores anteriores, cilindro y pieza.

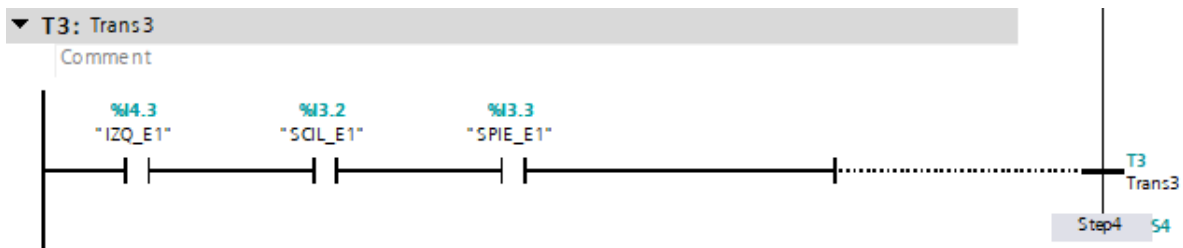


Figura 84 - Transición 3 - Estación de separación

En la etapa 4, se setea el cilindro de parada para que este baje y detenga el pallet, a su vez se enciende el led azul el cual indica que la estación se encuentra en un proceso, y se acciona un temporizador para dar el tiempo de llegada al pallet y proceder a apagar el motor.

| S4: Step4                  |       |             |                |          |       |
|----------------------------|-------|-------------|----------------|----------|-------|
| Comment                    |       |             |                |          |       |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |             |                |          |       |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |             |                |          |       |
| ▼ Actions: .....           |       |             |                |          |       |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action         |          |       |
|                            |       | S -Setto 1  | "CILPAR_E1"    | "CIL..." | %Q3.0 |
|                            |       | D -On delay | "TEMP1",T#1.3S | "TEMP1"  | %M0.0 |
|                            |       | S -Setto 1  | "LED_AZUL"     | "LED..." | %Q0.1 |

Figura 85 - Etapa 4 - Estación de separación

En la transición 4, tenemos simplemente el temporizador que da el tiempo de llegada al pallet.

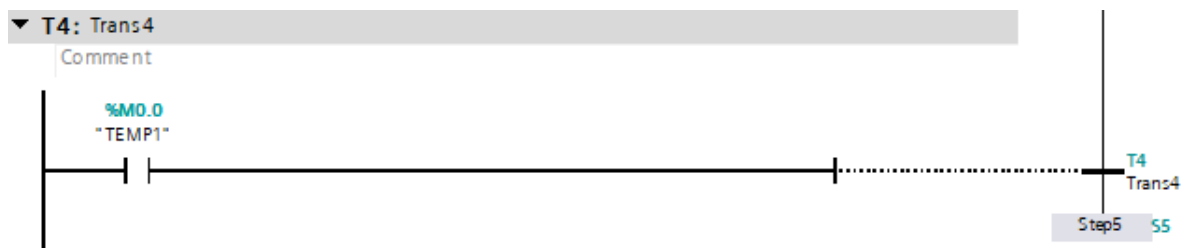


Figura 86 - Transición 4 - Estación de separación

En la etapa 5, se apaga el motor para que este no sufra desgaste, se setea el cilindro de liberación de la pieza y se da un tiempo pequeño, al setear el cilindro, este retrocede y al tener una pieza tipo gancho que sujeta las cajas deja caer la primera.

| S5: Step5                  |       |             |                |          |       |
|----------------------------|-------|-------------|----------------|----------|-------|
| Comment                    |       |             |                |          |       |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |             |                |          |       |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |             |                |          |       |
| ▼ Actions: .....           |       |             |                |          |       |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action         |          |       |
|                            |       | R -Setto 0  | "AVAMOT_E1"    | "AVA..." | %Q4.0 |
|                            |       | S -Setto 1  | "CILPIE_E1"    | "CIL..." | %Q3.2 |
|                            |       | D -On delay | "TEMP2",T#0.5S | "TEMP2"  | %M0.1 |

Figura 87 - Etapa 5 - Estación de separación

Como transición 5 se tiene el temporizador del cilindro de pieza.

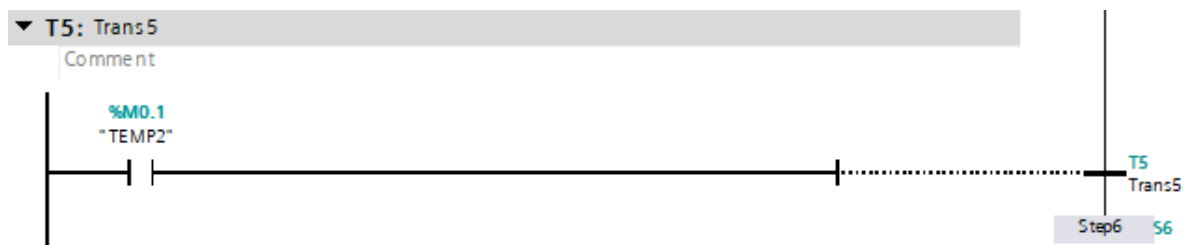


Figura 88 - Transición 5 - Estación de separación

En la etapa 6, se avanza el cilindro, para que este coja la siguiente caja, y se da un temporizador el cual se usa para el tiempo que se demora en caer la tapa y así pasar a la siguiente etapa.

| S6: Step6                  |       |              |                 |                |
|----------------------------|-------|--------------|-----------------|----------------|
| Comment                    |       |              |                 |                |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |              |                 |                |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |              |                 |                |
| ▼ Actions: .....           |       |              |                 |                |
| Interlock                  | Event | Qualifier    | Action          |                |
|                            |       | R - Set to 0 | "CILPIE_E1"     | "CIL..." %Q3.2 |
|                            |       | D - On delay | "TEMP3", T#0.5S | "TEMP3" %M0.2  |

Figura 89 - Etapa 6 - Estación de separación

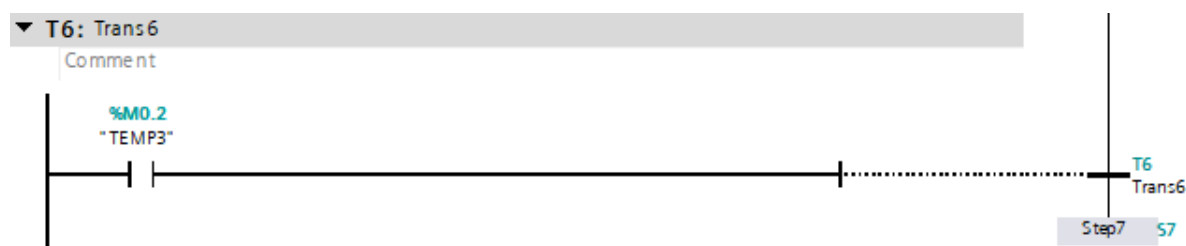


Figura 90 - Transición 6 - Estación de separación

En la etapa 7, se reinicia el cilindro de parada, ya que se le debe dar paso al pallet para que continúe con el proceso.

| S7: Step7                  |       |              |             |                |
|----------------------------|-------|--------------|-------------|----------------|
| Comment                    |       |              |             |                |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |              |             |                |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |              |             |                |
| ▼ Actions: .....           |       |              |             |                |
| Interlock                  | Event | Qualifier    | Action      |                |
|                            |       | R - Set to 0 | "CILPAR_E1" | "CIL..." %Q3.0 |

Figura 91 - Etapa 7 - Estación de separación

Como transición 7, se tiene el sensor de retroceso del cilindro de parada, para saber en qué momento se puede activar el motor.

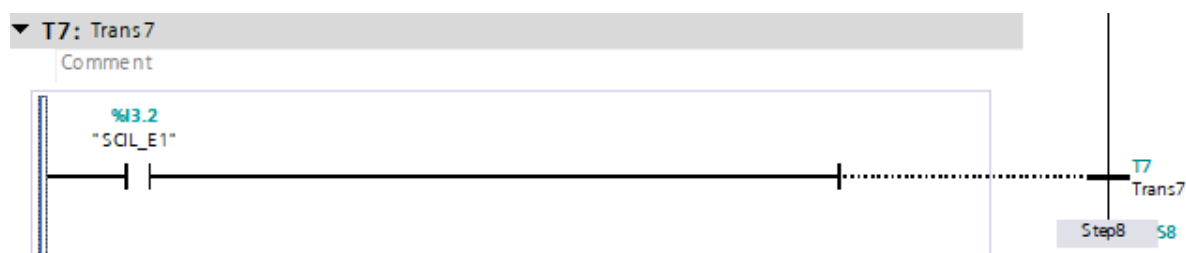


Figura 92 - Transición 7 - Estación de separación

En la etapa 8, avanza el motor que mueve el pallet, y se apaga el piloto azul, ya que en este momento se ha culminado el proceso de esta estación.

| S8: Step8                  |       |            |             |          |       |
|----------------------------|-------|------------|-------------|----------|-------|
| Comment                    |       |            |             |          |       |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |            |             |          |       |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |            |             |          |       |
| ▼ Actions: .....           |       |            |             |          |       |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action      |          |       |
|                            |       | S -Setto 1 | "AVAMOT_E1" | "AVA..." | %Q4.0 |
|                            |       | R -Setto 0 | "LED_AZUL"  | "LED..." | %Q0.1 |

Figura 93 - Etapa 8 - Estación de separación

Para dar paso a la siguiente estación, se usa el sensor magnético de la derecha, y así se enciende el motor de la siguiente estación, y a su vez se dan las condiciones iniciales.

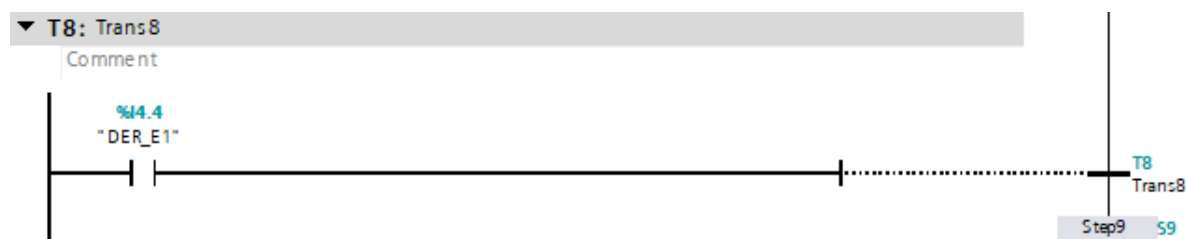


Figura 94 - Transición 8 - Estación de separación

| S9: Step9                  |       |            |             |          |       |
|----------------------------|-------|------------|-------------|----------|-------|
| Comment                    |       |            |             |          |       |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |            |             |          |       |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |            |             |          |       |
| ▼ Actions: .....           |       |            |             |          |       |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action      |          |       |
|                            |       | S -Setto 1 | "AVAMOT_E2" | "AVA..." | %Q6.0 |
|                            |       | R -Setto 0 | "CILPAR_E2" | "CIL..." | %Q5.0 |
|                            |       | R -Setto 0 | "REVMOT_E2" | "REV..." | %Q6.1 |
|                            |       | R -Setto 0 | "CILPIE_E2" | "CIL..." | %Q5.2 |

Figura 95 - Etapa 9 - Estación de separación

## 4.1.2 ESTACIÓN DE MONTAJE

La estructura de esta estación es similar a la anterior, el proceso de la estación de montaje consiste en depositar una tapa blanca o negra la cual se deja caer a una altura predeterminada para ensamblarse con la caja de la estación anterior. La estación de montaje cuenta con un cilindro de parada el cual es controlado por una electroválvula al igual que un cilindro de pieza el cual mediante un soporte de acrílico, es el encargado de sostener y posteriormente soltar la tapa. Al igual que en



la estación anterior, se cuenta con dos sensores magnéticos, uno a la entrada y otro a la salida, también se cuenta con un sensor de pieza, el cual es un final de carrera y un sensor magnético para el reconocimiento de la posición del cilindro de parada

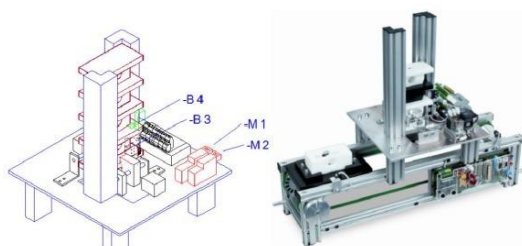


Figura 96 - Estación de montaje

Teniendo identificadas cada una de las entradas y salidas de la estación se procedió a asociar las variables con el programa. Estas variables se muestran a continuación en la tabla 3, para posteriormente proseguir con la programación.

| Name             | Data Type | Logical Address | Comment                                 |
|------------------|-----------|-----------------|---|
| <b>IZQ_E2</b>    | Bool      | %I6.3           | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 2             |
| <b>DER_E2</b>    | Bool      | %I6.4           | SENSOR DERECHO ESTACION 2               |
| <b>SCIL_E2</b>   | Bool      | %I5.2           | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E2      |
| <b>SPIE_E2</b>   | Bool      | %I5.3           | SENSOR DE PIEZAS ESTACION 2             |
| <b>CILPAR_E2</b> | Bool      | %Q5.0           | CILINDRO PARADA ESTACION 2              |
| <b>CILPIE_E2</b> | Bool      | %Q5.2           | CILINDRO PIEZAS ESTACION 2              |
| <b>AVAMOT_E2</b> | Bool      | %Q6.0           | AVANCE MOTOR ESTACION 2                 |
| <b>REVMOT_E2</b> | Bool      | %Q6.1           | RETROCESO MOTOR ESTACION 2              |
| <b>TEMP6</b>     | Bool      | %M0.5           | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION 2        |
| <b>TEMP7</b>     | Bool      | %M0.6           | TIEMPO CILINDRO PIEZA ESTACION 2        |
| <b>TEMP8</b>     | Bool      | %M0.7           | TIEMPO CAIDA PIEZA ESTACION 2           |
| <b>TEMP10</b>    | Bool      | %M1.0           | TIEMPO ADICIONAL MOTOR BANDA ESTACION 2 |

Tabla 3 - Tabla de variables - Estación montaje

Para esta estación se definió una dirección 3 en PROFIBUS y también se usaron los bytes 4 y 5 para el manejo de entradas y salidas de la estación de montaje de la celda.

Al iniciar la programación se tuvo en cuenta que esta estación se debía acoplar con la estación anterior para que estas fueran parte de un proceso continuo. En la figura 97 se muestra el diagrama de flujo de la estación de montaje.

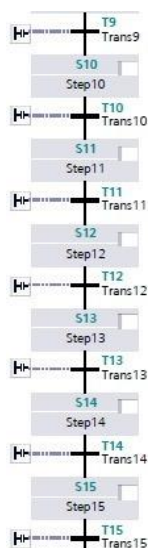


Figura 97 - Diagrama de flujo - Estación de montaje

En la transición 9 se tienen 3 sensores los cuales realizan la verificación de que la estación se encuentra en condiciones de operación. Estos sensores corresponden a: el sensor izquierdo, el sensor de pieza y el sensor de posición del cilindro. Todos los anteriores son correspondientes a la estación de montaje.

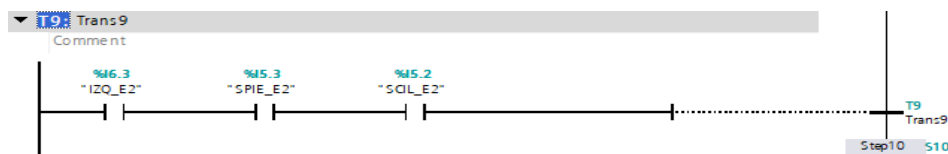


Figura 98 - Transición 9 - Estación de montaje

En la etapa 10 se tiene la activación del cilindro de parada, el piloto azul indicando que la estación se encuentra en proceso y se apaga el motor de la estación anterior, también se crea un temporizador para el tiempo de llegada del pallet al cilindro de parada.

| S10: Step10      |       |           |                 |
|------------------|-------|-----------|-----------------|
| Comment          |       |           |                 |
| Interlock (c):   |       |           |                 |
| Supervision (v): |       |           |                 |
| Actions:         |       |           |                 |
| Interlock        | Event | Qualifier | Action          |
|                  | S     | -Setto 1  | "CILPAR_E2"     |
|                  | D     | -On delay | "TEMP6", T#1.3S |
|                  | S     | -Setto 1  | "LED_AZUL"      |
|                  | R     | -Setto 0  | "AVAMOT_E1"     |
|                  |       |           | "CIL..." %Q5.0  |
|                  |       |           | "TEMP6" %M0.5   |
|                  |       |           | "LED..." %Q0.1  |
|                  |       |           | "AVA..." %Q4.0  |

Figura 99 - Etapa 10 - Estación de montaje

En la transición 10 se tiene como condición el temporizador de la llegada del pallet el cual tiene un tiempo de 1.3 segundos y esta nombrado como “TEMP6”.

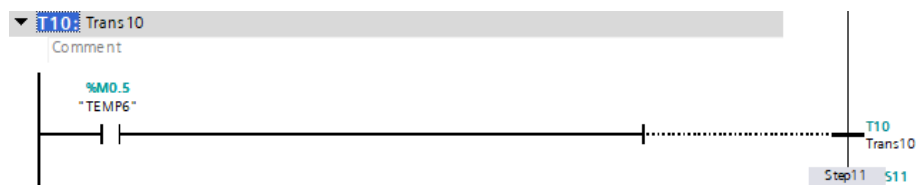


Figura 100 - Transición 10 - Estación de Montaje

En la etapa 11 se tiene el apagado del motor de la estación de montaje, también se setea el cilindro de pieza para dejar caer la tapa y se activa un temporizador el cual corresponde al tiempo que se demora el cilindro en liberar la tapa.

| S11: Step11        |       |           |                 |               |
|--------------------|-------|-----------|-----------------|---------------|
| Comment            |       |           |                 |               |
| Interlock -(c):-   |       |           |                 |               |
| Supervision -(v):- |       |           |                 |               |
| Actions:           |       |           |                 |               |
| Interlock          | Event | Qualifier | Action          |               |
|                    | R     | -Setto 0  | "PAVAMOT_E2"    | "AVA... %Q6.0 |
|                    | S     | -Setto 1  | "CILPIE_E2"     | "CIL... %Q5.2 |
|                    | D     | -On delay | "TEMP7", T#0.5S | "TEMP7" %M0.6 |

Figura 101 - Etapa 11 - Estación de montaje

En la transición 11 se tiene el temporizador mencionado anteriormente, el cual cuenta con un tiempo de 0.5 segundos y es nombrado “TEMP7”.

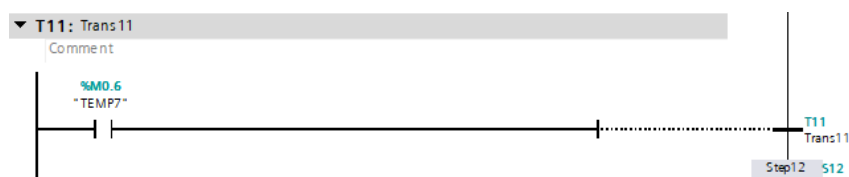


Figura 102 - Transición 11 - Estación de montaje.

En la etapa 12 se tiene el reset del cilindro de pieza para que este aprisione la tapa siguiente, se cuenta con un temporizador el cual corresponde al tiempo de caída de la tapa anteriormente soltada.

| S12: Step12        |       |           |                 |               |
|--------------------|-------|-----------|-----------------|---------------|
| Comment            |       |           |                 |               |
| Interlock -(c):-   |       |           |                 |               |
| Supervision -(v):- |       |           |                 |               |
| Actions:           |       |           |                 |               |
| Interlock          | Event | Qualifier | Action          |               |
|                    | R     | -Setto 0  | "CILPIE_E2"     | "CIL... %Q5.2 |
|                    | D     | -On delay | "TEMP8", T#0.5S | "TEMP8" %M0.7 |

Figura 103 - Etapa 12 - Estación de montaje

En la transición 12 se tiene el temporizador correspondiente a la caída de la tapa el cual tiene un tiempo de 0.5 segundos "TEMP8".

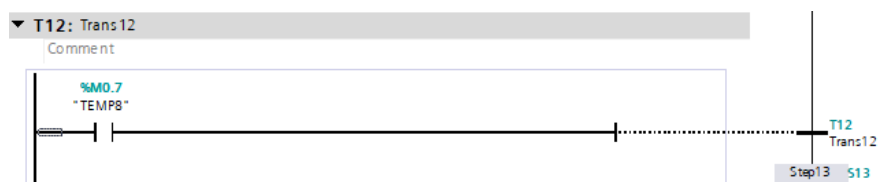


Figura 104 - Transición 12 - Estación de montaje

En la etapa 13 se tiene la devolución del cilindro de parada a través de una acción de reset para la liberación del producto ensamblado.

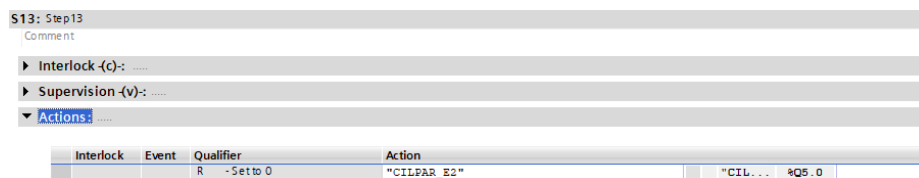


Figura 105 - Etapa 13 - Estación de montaje

En la transición 13 se tiene el sensor de devolución del cilindro de parada antes de la activación del motor.

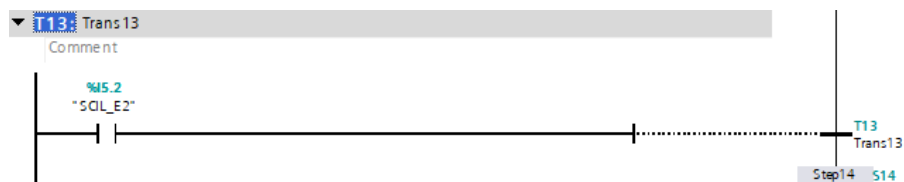


Figura 106 - Transición 13 - Estación de montaje

En la etapa 14 se tiene la activación del motor 2 para llevar el pallet al final de la estación, y se reinicia el led azul indicando que la estación ha culminado su proceso.

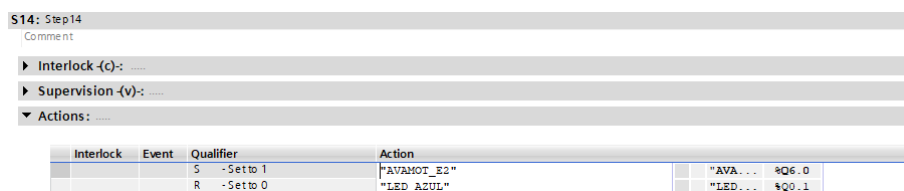


Figura 107 - Etapa 14 - Estación de montaje

En la transición 14 se tiene el sensor magnético de final de estación, el cual da paso a la activación de las condiciones iniciales de la estación siguiente y encendido del

motor de la estación 3. Como condiciones iniciales se tienen: el apagado de los leds y cilindro de parada en retroceso.

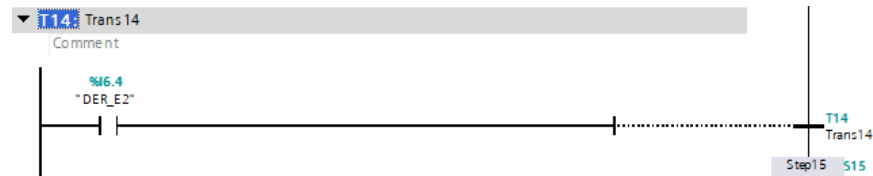


Figura 108 - Transición 14 - Estación de montaje

S15: Step15  
Comment

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier  | Action      |
|-----------|-------|------------|-------------|
|           |       | R -Setto 0 | "CILPAR_E3" |
|           |       | S -Setto 1 | "AVAMOT_E3" |
|           |       | R -Setto 0 | "REVMOT_E3" |
|           |       | R -Setto 0 | "LED_RESET" |
|           |       | R -Setto 0 | "LED_START" |
|           |       | R -Setto 0 | "LED_AZUL"  |
|           |       | R -Setto 0 | "LED_STOP"  |

|         |       |
|---------|-------|
| "CIL... | %Q7.0 |
| "AVA... | %Q8.1 |
| "REV... | %Q8.2 |
| "LED... | %Q0.3 |
| "LED... | %Q0.0 |
| "LED... | %Q0.1 |
| "LED... | %Q0.2 |

Figura 109 - Etapa 15 - Estación de montaje

### 4.1.3 ESTACIÓN DE VERIFICACIÓN

La estación de verificación de la celda de manufactura consiste en evaluar las condiciones de los productos anteriormente ensamblados. Esta estación cuenta con múltiples sensores los cuales se encargan de lo mencionado anteriormente, entre los que se encuentran:

- Sensor óptico, para el reconocimiento del color blanco de la caja
- Sensor inductivo, para el reconocimiento del pin metálico
- Sensor capacitivo, el cual detecta la presencia de la caja
- Sensor óptico superior, para el reconocimiento del color blanco de la tapa

Esta estación, al igual que las anteriores, cuenta con un cilindro de parada, el cual es controlado por una electroválvula. También tiene equipado un sensor magnético para el reconocimiento de la posición del vástago

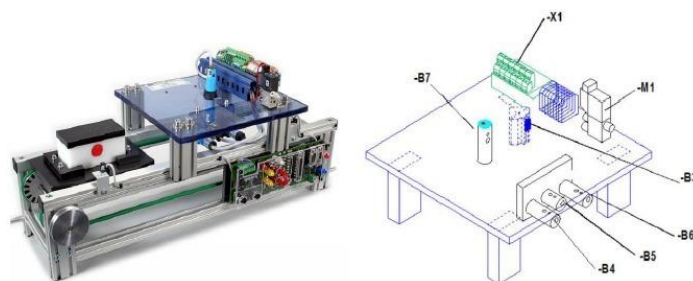


Figura 110 - Estación de verificación

Las variables de entradas y salidas de la estación de verificación identificadas al momento de programar son las mostradas en la tabla 4.

| Name             | Data Type | Logical Address | Comment                                 |
|------------------|-----------|-----------------|---|
| <b>IZQ_E3</b>    | Bool      | %I8.3           | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 3             |
| <b>DER_E3</b>    | Bool      | %I8.4           | SENSOR DERECHO ESTACION 3               |
| <b>SCIL_E3</b>   | Bool      | %I7.2           | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E3      |
| <b>SCAJ_E3</b>   | Bool      | %I7.3           | SENSOR COLOR CAJA ESTACION 3            |
| <b>SPIN_E3</b>   | Bool      | %I7.4           | SENSOR PIN ESTACION 3                   |
| <b>SPIE_E3</b>   | Bool      | %I7.5           | SENSOR PIEZA ESTACION 3                 |
| <b>STAP_E3</b>   | Bool      | %I7.6           | SENSOR COLOR TAPA ESTACION 3            |
| <b>CILPAR_E3</b> | Bool      | %Q7.0           | CILINDRO PARADA ESTACION 3              |
| <b>AVAMOT_E3</b> | Bool      | %Q8.1           | AVANCE MOTOR ESTACION 3                 |
| <b>REVMOT_E3</b> | Bool      | %Q8.2           | RETROCESO MOTOR ESTACION 3              |
| <b>TEMP11</b>    | Bool      | %M1.1           | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION 3        |
| <b>TEMP12</b>    | Bool      | %M1.2           | TIEMPO DE SENSADO ESTACION 3            |
| <b>BLANCO</b>    | Bool      | %M1.3           | CAMBIO DE TAPA A BLANCO ESTACION 3      |
| <b>NEGRO</b>     | Bool      | %M1.4           | CAMBIO DE TAPA A NEGRO ESTACION 3       |
| <b>PIN</b>       | Bool      | %M1.5           | LA PIEZA LLEVA UN PIN ESTACION 3        |
| <b>OK</b>        | Bool      | %M1.6           | LA PIEZA NO TIENE DEFECTOS ESTACION 3   |
| <b>TEMP14</b>    | Bool      | %M1.7           | TIEMPO ADICIONAL MOTOR BANDA ESTACION 3 |

Tabla 4 - Tabla de variables - Estación de verificación

En la tabla anterior se muestran también unos temporizadores usados en la programación y 4 memorias las cuales funcionarán para la toma de decisiones de las estaciones siguientes. La comunicación de PROFIBUS DP se realizó a través de una dirección 4 y para el manejo de entradas y salidas se utilizaron los bytes 7 y 8. En la figura 111 se muestra el diagrama de flujo de la presente estación.

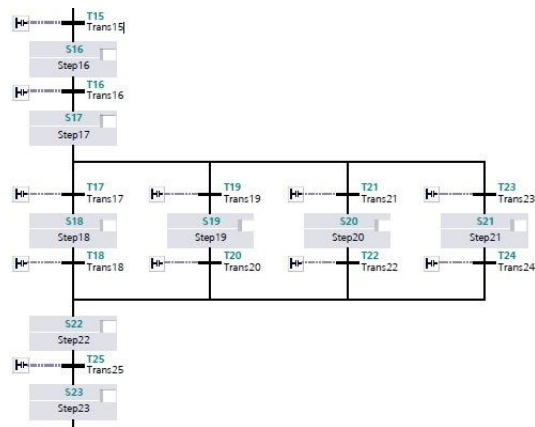


Figura 111 - Diagrama de flujo de la estación de verificación

En la transición 15 se tiene como verificación que la estación está lista para un proceso el sensor magnético de entrada y el sensor del cilindro de parada.

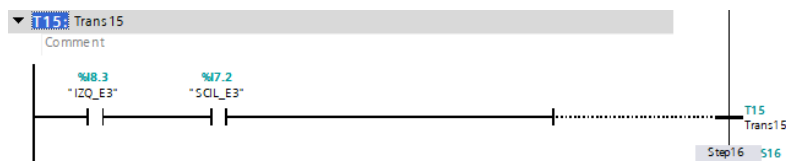


Figura 112 - Transición 15 - Estación de verificación

En la etapa 16 se tiene la activación del cilindro de parada de la estación de verificación con la activación del temporizador de llegada del pallet al tope del cilindro y también el apagado del motor de la estación anterior.

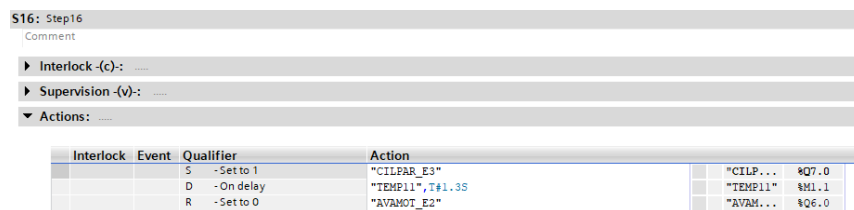


Figura 113 - Etapa 16 - Estación de verificación

En la transición 16 se tiene el temporizador de llegada del pallet nombrado "TEMP11" con una duración de 1.3 segundos.

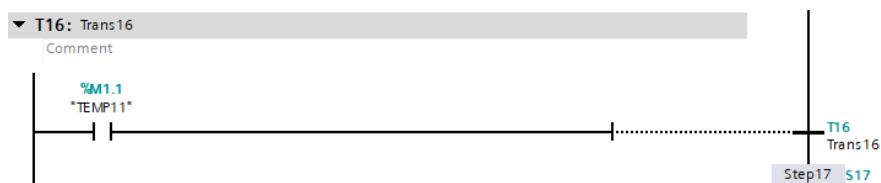


Figura 114 - Transición 16 - Estación de verificación

En la etapa 17 se tiene el apagado del motor para evitar un desgaste en el mismo y se activa un temporizador de detección, el cual tiene una duración de 1 segundo.

S17: Step17  
Comment

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier    | Action        |  |                 |
|-----------|-------|--------------|---------------|--|-----------------|
|           |       | R - Set to 0 | "AVAMOT_E3"   |  | "AVAM..." %Q8.1 |
|           |       | D - On delay | "TEMP12",T#1S |  | "TEMP12" %M1.2  |

Figura 115 - Etapa 17 - Estación de verificación

En las siguientes etapas y transiciones se tiene una toma de decisiones las cuales dependen unicamente de las variables de entrada a detectar por la estación de verificación.

En los siguientes procedimientos se muestran cada una de las combinaciones que se pueden lograr a partir de los valores entregados por los sensores.

En la transición 17 se tiene el temporizador de sensado, también el sensor de pieza que indica que la caja se encuentra en la estación. En esta combinación se tiene que si no se llega a detectar un pin metálico y el producto correspondiente a caja y tapa son del mismo color se activará la memoria “OK” que devolverá el cilindro de parada y se activara el led de color verde. Lo anteriormente mencionado se ilustra en la etapa 18.

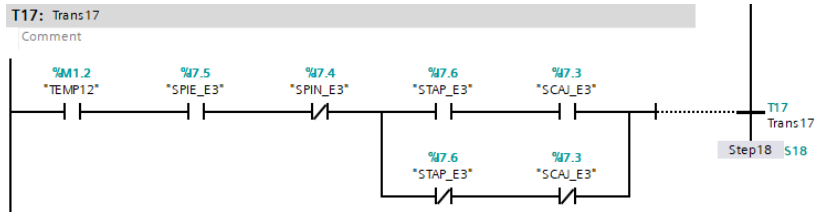


Figura 116 - Transición 17 - Estación de verificación

S18: Step18  
Comment

► Interlock -(c)-: .....

► Supervision -(v)-: .....

▼ Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier    | Action      |  |                |
|-----------|-------|--------------|-------------|--|----------------|
|           |       | S - Set to 1 | "OK"        |  | "OK" %M1.6     |
|           |       | R - Set to 0 | "CILPAR_E3" |  | "CIL..." %Q7.0 |
|           |       | S - Set to 1 | "LED_START" |  | "LED..." %Q0.0 |

Figura 117 - Etapa 18 - Estación de verificación

En la transición 19 se tienen los mismos sensores mencionados anteriormente, solo que en este caso tienen una combinación diferente. Esta combinación corresponde



a que independientemente del color entre tapa y caja si se llega a detectar un pin en esta estación se activará la memoria nombrada como “PIN”, se liberará el cilindro de parada, y en este caso se encenderá el led de color amarillo. Esto se ilustra en la etapa 19.

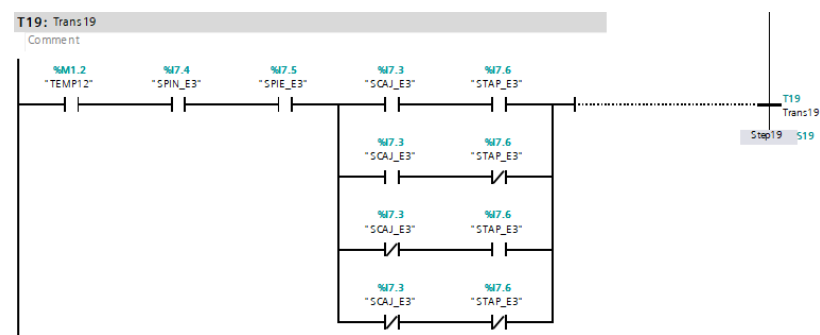


Figura 118 - Transición 19 - Estación de verificación

| S19: Step19                |       |             |             |
|----------------------------|-------|-------------|-------------|
| Comment                    |       |             |             |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |             |             |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |             |             |
| ▼ Actions: .....           |       |             |             |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action      |
|                            |       | S - Setto 1 | "PIN"       |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILPAR_E3" |
|                            |       | S - Setto 1 | "LED_RESET" |

Figura 119 - Etapa 19 - Estación de verificación

En la transición 21 aparte de los sensores anteriormente mencionados se enfatiza principalmente en la ausencia de un pin metálico en el producto, también la detección de una tapa de color blanco con una caja negra, esto indica que la tapa se debe cambiar por una de color negro, para ello se utiliza la memoria nombrada como “NEGRO”, posteriormente se retrocede el cilindro y se enciende el led de color rojo.

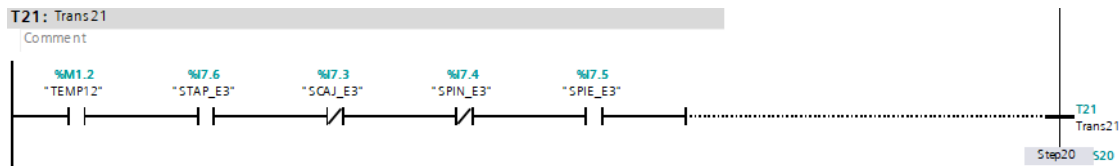


Figura 120 - Transición 21 - Estación de verificación

| S20: Step20                |       |             |             |
|----------------------------|-------|-------------|-------------|
| Comment                    |       |             |             |
| ► Interlock -(c):- .....   |       |             |             |
| ► Supervision -(v):- ..... |       |             |             |
| ▼ Actions: .....           |       |             |             |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action      |
|                            |       | S - Setto 1 | "NEGRO"     |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILPAR_E3" |
|                            |       | S - Setto 1 | "LED_STOP"  |

Figura 121 - Etapa 20 - Estación de verificación

Según las condiciones visualizadas en la transición 23, se aprecia el temporizador, el sensor de pieza, la no activación del sensor de pin metálico, y una tapa de color negro con una caja blanca. Esta combinación da como resultado la activación de la memoria denominada como "BLANCO", el retroceso del cilindro de parada y la activación del led de color azul, todo esto se ilustra en la etapa 21.

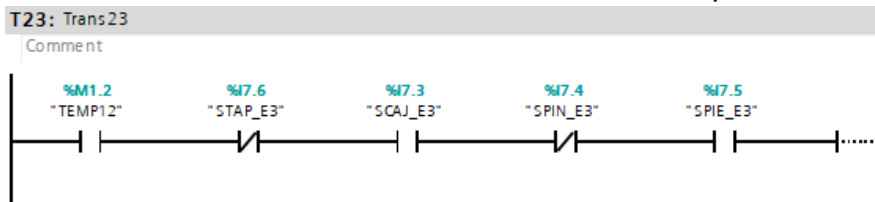


Figura 122 - Transición 23 - Estación de verificación

| S21: Step21                |       |             |             |
|----------------------------|-------|-------------|-------------|
| Comment                    |       |             |             |
| ► Interlock -(c):- .....   |       |             |             |
| ► Supervision -(v):- ..... |       |             |             |
| ▼ Actions: .....           |       |             |             |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action      |
|                            |       | S - Setto 1 | "BLANCO"    |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILPAR_E3" |
|                            |       | S - Setto 1 | "LED_AZUL"  |

Figura 123 - Etapa 21 - Estación de verificación

En las siguientes transiciones se tiene una equivalencia de estas, ya que solo se utilizan para verificar que el cilindro de parada retrocedió y se encuentra en su posición inicial. Lo anterior se puede ver ilustrado en las transiciones 18, 20, 22 y 24.

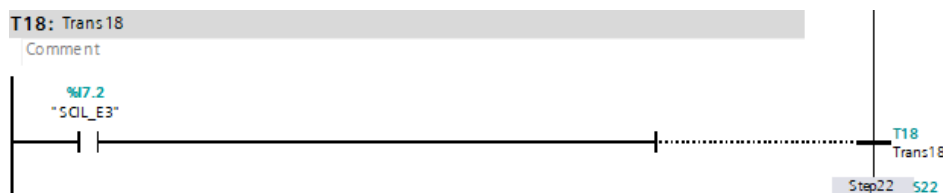


Figura 124 - Transición 18 - Estación de verificación

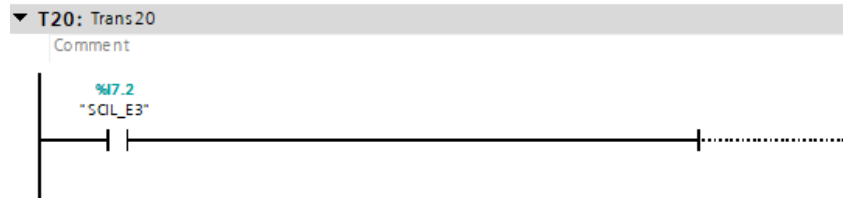


Figura 125 - Transición 20 - Estación de verificación

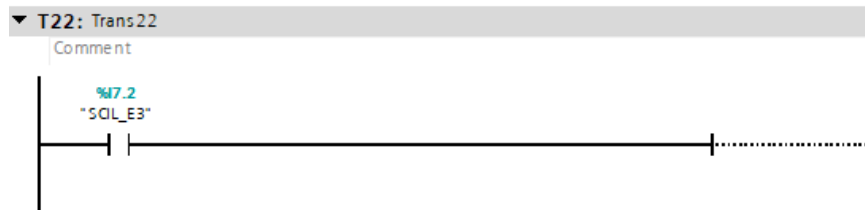


Figura 126 - Transición 22 - Estación de verificación

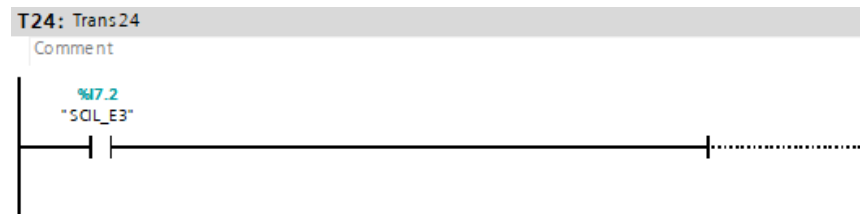


Figura 127 - Transición 24 - Estación de verificación

En la etapa 22 se tiene la activación del motor de la estación de verificación para liberar el pallet con el producto.

| S22: Step22              |       |           |                |
|--------------------------|-------|-----------|----------------|
| Comment                  |       |           |                |
| Interlock -(c)-: .....   |       |           |                |
| Supervision -(v)-: ..... |       |           |                |
| Actions: .....           |       |           |                |
| Interlock                | Event | Qualifier | Action         |
|                          | S     | - Setto 1 | "AVAMOT_E3"    |
|                          |       |           | "AVA..." %Q8.1 |

Figura 128 – Etapa 22 - Estación de verificación

En la transición 25 se tiene el sensor magnético de la salida de la estación de verificación para dar por terminado el proceso e esta estación y continuar con la siguiente estación.

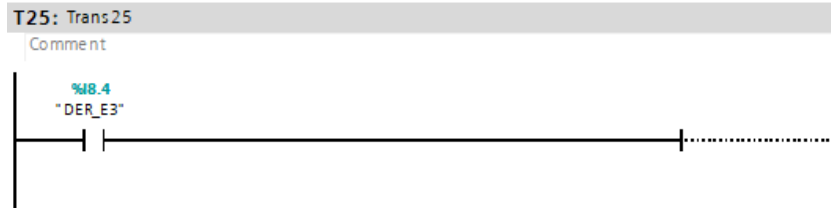


Figura 129 - Transición 25 - Estación de verificación

#### 4.1.4 ESTACIÓN DE MANIPULACIÓN

La estación de manipulación consiste en que, si en la estación de verificación se ha detectado un pin metálico, independientemente del color entre caja y tapa, esta procede a retirar el producto. En esta estación se dispone de un cilindro de parada controlado por una electroválvula y con un sensor magnético, también se tienen tres tipos de actuadores controlados por otras tres electroválvulas, entre los que se encuentran:

- Un actuador rotativo para mover la mesa pivotante, este actuador está controlado por dos sensores magnéticos ubicados a 0 y 90 grados angulares de la mesa.
- Un actuador lineal el cual tiene un movimiento totalmente vertical controlado por un final de carrera para reconocer el retroceso del mismo.
- Un tubo Venturi, el cual genera una presión negativa, la responsable de generar una succión a través de unas ventosas. El tubo Venturi está controlado por un sensor de presión negativa.

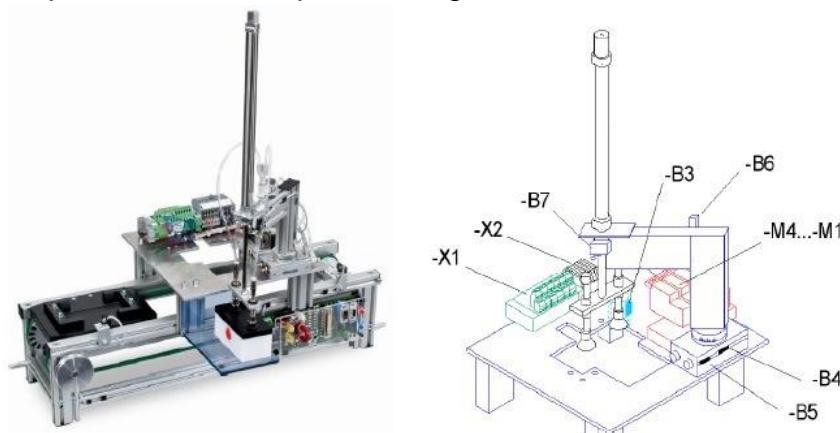


Figura 130 - Estación de manipulación

Al momento de realizar la programación se identifican las variables correspondientes a las entradas y salidas de la estación de manipulación.

| Name              | Data Type | Logical Address | Comment                                    |
|-------------------|-----------|-----------------|--|
| <b>IZQ_E4</b>     | Bool      | %I10.3          | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 4                |
| <b>DER_E4</b>     | Bool      | %I10.4          | SENSOR DERECHO ESTACION 4                  |
| <b>SCIL_E4</b>    | Bool      | %I9.2           | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E4         |
| <b>SPOS0_E4</b>   | Bool      | %I9.3           | SENSOR POSICION 0° CILINDRO 1 E4           |
| <b>SPOS90_E4</b>  | Bool      | %I9.4           | SENSOR POSICION 0° CILINDRO 1 E4           |
| <b>SPIE_E4</b>    | Bool      | %I9.5           | SENSOR PIEZA ESTACION 4                    |
| <b>SSUP_E4</b>    | Bool      | %I9.6           | SENSOR POSICION SUPERIOR VENTOSA E4        |
| <b>CILPAR_E4</b>  | Bool      | %Q9.1           | CILINDRO PARADA ESTACION 4                 |
| <b>CILMESA_E4</b> | Bool      | %Q9.0           | CILINDRO MESA PIVOTANTE ESTACION 4         |
| <b>CILVERT_E4</b> | Bool      | %Q9.2           | CILINDRO VERTICAL ESTACION 4               |
| <b>SUC_E4</b>     | Bool      | %Q9.3           | SUCCIONAR ESTACION 4                       |
| <b>AVAMOT_E4</b>  | Bool      | %Q10.0          | AVANCE MOTOR ESTACION 4                    |
| <b>REVMOT_E4</b>  | Bool      | %Q10.1          | RETROCESO MOTOR ESTACION 4                 |
| <b>TEMP15</b>     | Bool      | %M2.0           | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION 4           |
| <b>TEMP16</b>     | Bool      | %M2.1           | TIEMPO COGER CILINDRO VERTICAL ESTACION 4  |
| <b>TEMP17</b>     | Bool      | %M2.2           | TIEMPO SOLTAR CILINDRO VERTICAL ESTACION 4 |
| <b>TEMP18</b>     | Bool      | %M2.3           | TIEMPO DEVOLUCION CILPAR ESTACION 4        |
| <b>TEMP21</b>     | Bool      | %M2.6           | TEMPORIZADOR SUCCION ESTACION 4            |

*Tabla 5 - Tabla de variables de la estación de manipulación*

En la comunicación PROFIBUS se definió un direccionamiento de 5 y a su vez se utilizaron los bytes 9 y 10 para el manejo de entradas y salidas. A continuación, se muestra el diagrama de flujo para la estación de manipulación.

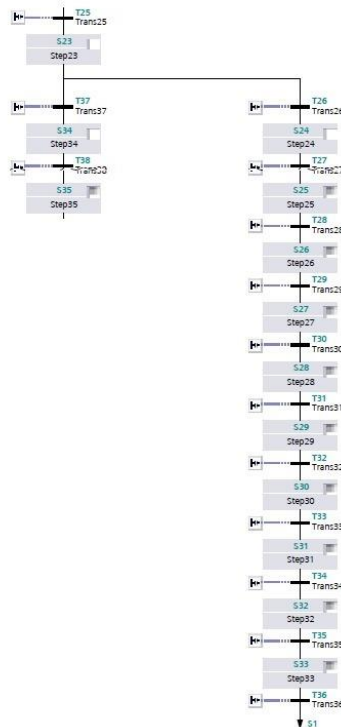


Figura 131 - Diagrama de flujo de la estación de manipulación.

En la etapa 23 se generan las condiciones iniciales de esta estación, entre las que se encuentran: el retroceso o posición de límite inferior de cada uno de los actuadores de la estación, apagado de la succión y encendido del motor de la estación.

| S23: Step23                |       |             |              |
|----------------------------|-------|-------------|--------------|
| Comment                    |       |             |              |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |             |              |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |             |              |
| ▼ Actions: .....           |       |             |              |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action       |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILPAR_E4"  |
|                            |       | S - Setto 1 | "AVAMOT_E4"  |
|                            |       | R - Setto 0 | "REVMOT_E4"  |
|                            |       | R - Setto 0 | "SUC_E4"     |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILMESA_E4" |
|                            |       | R - Setto 0 | "CILTERT_E4" |

Figura 132 - Etapa 23 - Estación de manipulación

En las siguientes transiciones se tienen dos caminos a elegir los cuales dependen principalmente de que el producto tenga un pin metálico o no. En la transición 26 se tienen el sensor magnético de entrada, el sensor de posicionamiento en 0 grados de la mesa pivotante, el sensor superior del cilindro lineal, el sensor de posicionamiento del cilindro y finalmente la detección de un pin metálico.

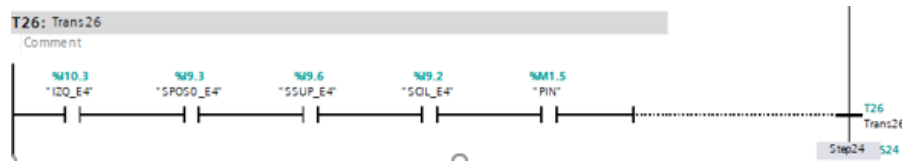


Figura 133 - Transición 26 - Estación de manipulación

En la etapa 24 se tiene la activación del cilindro de parada, activación del piloto azul, apagado del motor de la estación anterior y un temporizador para la llegada del producto al cilindro de parada.

| S24: Step24             |       |              |                  |         |       |
|-------------------------|-------|--------------|------------------|---------|-------|
| Comment                 |       |              |                  |         |       |
| Interlock (c)-: .....   |       |              |                  |         |       |
| Supervision (v)-: ..... |       |              |                  |         |       |
| Actions: .....          |       |              |                  |         |       |
| Interlock               | Event | Qualifier    | Action           |         |       |
|                         |       | D - On delay | "TEMP15", T#1.5S | "TEM... | %M2.0 |
|                         |       | S - Setto 1  | "CILPAR_E4"      | "CIL... | %Q9.1 |
|                         |       | S - Setto 1  | "LED_AZUL"       | "LED... | %Q0.1 |
|                         |       | R - Setto 0  | "AVAMOT_E3"      | "AVA... | %Q8.1 |

Figura 134 - Etapa 24 - Estación de manipulación

En la transición 27 se tiene el temporizador de llegada del pallet, sensor de posición cero de la mesa pivotante, y el sensor superior que indica que el actuador lineal se encuentra retraído.

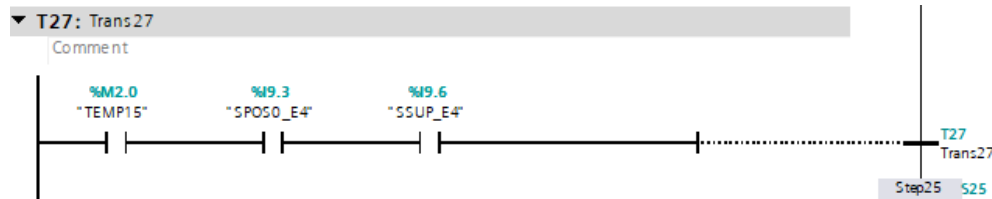


Figura 135 - Transición 27 - Estación de manipulación

En la etapa 25 se tiene el apagado del motor de la presente estación y además se activa el avance del cilindro de mesa para ubicarse verticalmente a la pieza.

| S25: Step25             |       |             |              |         |        |
|-------------------------|-------|-------------|--------------|---------|--------|
| Comment                 |       |             |              |         |        |
| Interlock (c)-: .....   |       |             |              |         |        |
| Supervision (v)-: ..... |       |             |              |         |        |
| Actions: .....          |       |             |              |         |        |
| Interlock               | Event | Qualifier   | Action       |         |        |
|                         |       | R - Setto 0 | "AVAMOT_E4"  | "AVA... | %Q10.0 |
|                         |       | S - Setto 1 | "CILMESA_E4" | "CIL... | %Q9.0  |

Figura 136 - Etapa 25 - Estación de manipulación

En la transición 28 tenemos la activación del sensor de posición de 90 grados de la mesa pivotante y el sensor del actuador lineal, el cual debe estar activado, ya que este no se ha accionado aún.



Figura 137 - Transición 28 - Estación de manipulación

En la etapa 26 se tiene la activación del cilindro vertical para que este alcance la pieza, la transición de una etapa a otra se realiza a través de un temporizador el cual tiene un tiempo de 1.5 segundos para que el cilindro vertical baje a la posición extrema en dicho tiempo.

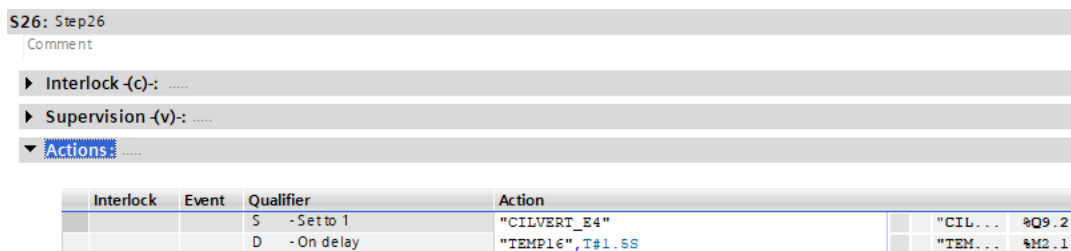


Figura 138 - Etapa 26 - Estación de manipulación

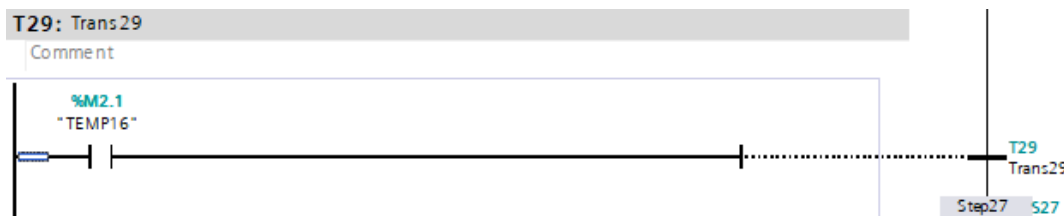


Figura 139 - Transición 29 - Estación de manipulación

En la etapa 27 se tiene la activación de la succión para sujetar la pieza. A esta se le asigna un tiempo de retardo de 1 segundo para garantizar que la ventosa sujete la pieza firmemente.

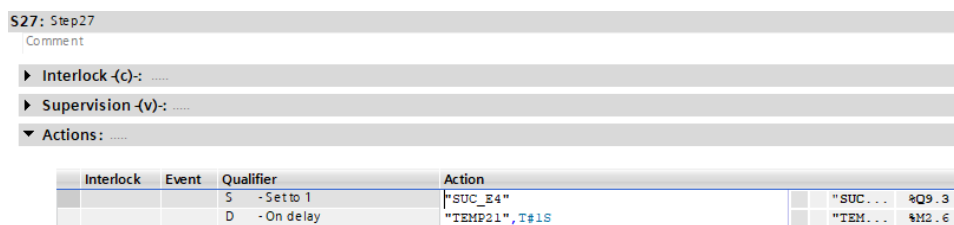


Figura 140 - Etapa 27 - Estación de manipulación



En la transición 30 se tiene el temporizador de succión, se tiene el sensor superior, el cual no debe estar activado, ya que el cilindro vertical se encuentra en la posición inferior y también se tiene el sensor de posicionamiento a 90 grados, el cual se encuentra activado.

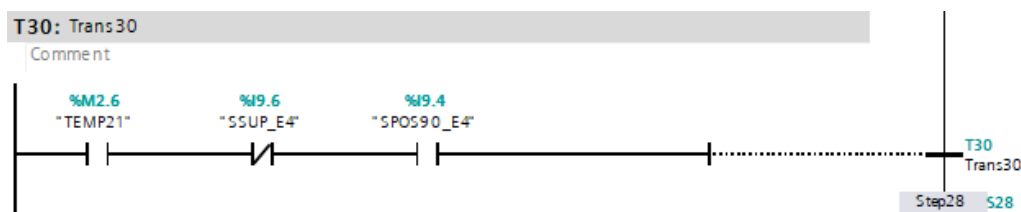


Figura 141 - Transición 30 - Estación de manipulación

En la etapa 28 se tiene el retroceso del cilindro vertical, el cual en ese momento debe levantar la pieza para llegar a la posición del límite inferior y así accionar el sensor superior para cumplir con la transición 31.

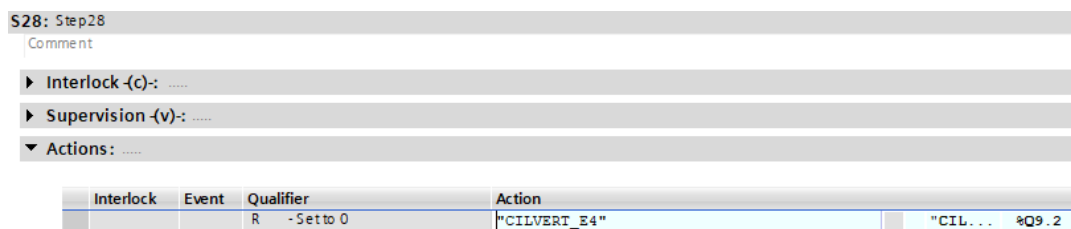


Figura 142 - Etapa 28 - Estación de manipulación

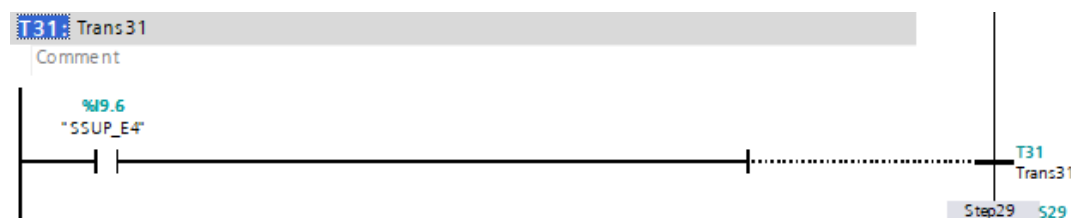


Figura 143 - Transición 31 - Estación de manipulación

En la etapa 29 se realiza el retroceso del cilindro de la mesa pivotante y este es detectado en la transición 32 para verificar que este ha sacado la pieza.

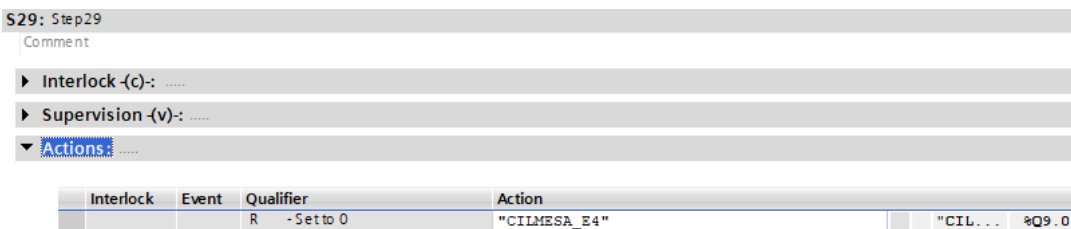


Figura 144 - Etapa 29 - Estación de manipulación

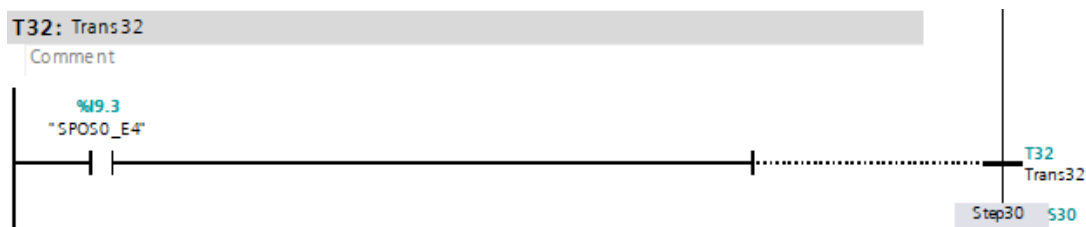


Figura 145 - Transición 32 - Estación de manipulación

En la etapa 30 se realiza el seteo del cilindro vertical para que este baje y junto con el producto llegue a la bandeja de salida. Se tiene el temporizador anterior para el descenso del cilindro vertical. En la transición 33 se tiene dicho temporizador y la no activación del sensor superior del cilindro vertical.

| S30: Step30                |       |            |                  |
|----------------------------|-------|------------|------------------|
| Comment                    |       |            |                  |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |            |                  |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |            |                  |
| ▼ Actions: .....           |       |            |                  |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action           |
|                            | S     | - Setto 1  | "CILVERT_E4"     |
|                            | D     | - On delay | "TEMP17", T#1.5S |
|                            |       |            | "CIL..." %Q9.2   |
|                            |       |            | "TEM..." %M2.2   |

Figura 146 - Etapa 30 - Estación de manipulación

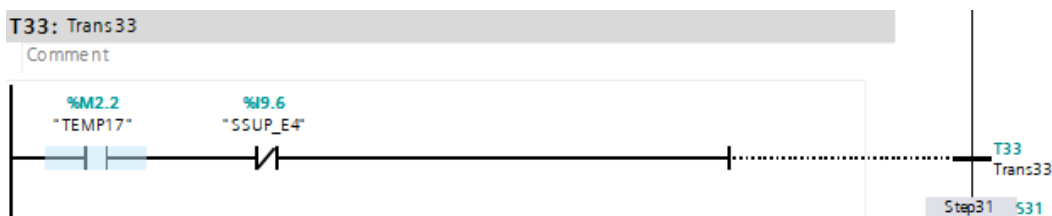


Figura 147 - Transición 33 - Estación de manipulación

En la etapa 31 se desactiva la succión para la liberación del producto, a su vez se reinicia el cilindro de parada y se da un periodo para realizar estas acciones. En la transición 34 se hace la verificación de posicionamiento de los actuadores y el temporizador en mención determine cuando ha transcurrido dicho tiempo.

| S31: Step31                |       |            |                |
|----------------------------|-------|------------|----------------|
| Comment                    |       |            |                |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |            |                |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |            |                |
| ▼ Actions: .....           |       |            |                |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action         |
|                            | R     | - Setto 0  | "SUC_E4"       |
|                            | R     | - Setto 0  | "CILPAR_E4"    |
|                            | D     | - On delay | "TEMP18", T#1S |
|                            |       |            | "SUC..." %Q9.3 |
|                            |       |            | "CIL..." %Q9.1 |
|                            |       |            | "TEM..." %M2.3 |

Figura 148 - Etapa 31 - Estación de manipulación

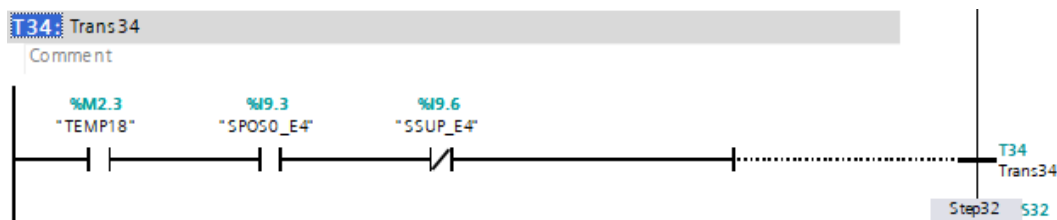


Figura 149 - Transición 34 - Estación de manipulación

En la etapa 32 se encienden los motores de las estaciones 4, 5 y 6 para liberar el pallet y que este pueda llegar al final del proceso de la celda. En la transición 35 se hace un sensado del sensor magnético inicial de la estación 5 para poder apagar el motor de la estación 4.

| S32: Step32             |       |             |                |
|-------------------------|-------|-------------|----------------|
| Comment                 |       |             |                |
| Interlock (c)-: .....   |       |             |                |
| Supervision (v)-: ..... |       |             |                |
| Actions: .....          |       |             |                |
| Interlock               | Event | Qualifier   | Action         |
|                         |       | S - Setto 1 | "AVAMOT_E4"    |
|                         |       | S - Setto 1 | "AVAMOT_E5_E6" |

Figura 150 - Etapa 32 - Estación de manipulación

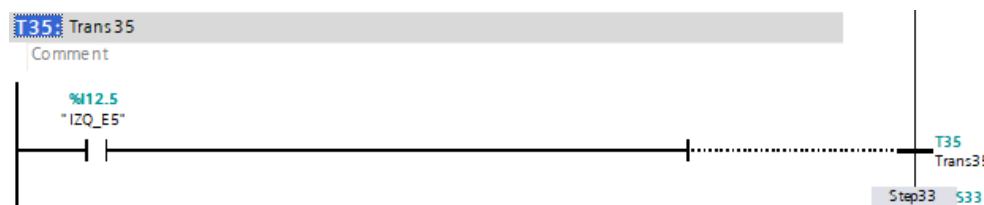


Figura 151 - Transición 35 - Estación de manipulación

| S33: Step33             |       |             |             |
|-------------------------|-------|-------------|-------------|
| Comment                 |       |             |             |
| Interlock (c)-: .....   |       |             |             |
| Supervision (v)-: ..... |       |             |             |
| Actions: .....          |       |             |             |
| Interlock               | Event | Qualifier   | Action      |
|                         |       | R - Setto 0 | "AVAMOT_E4" |

Figura 152 - Etapa 33 - Estación de manipulación

En la transición 36 al entrar en contacto con el sensor final de la estación 6, el programa genera un salto desde la transición actual hasta la estación 1 para poder iniciar un nuevo ciclo.

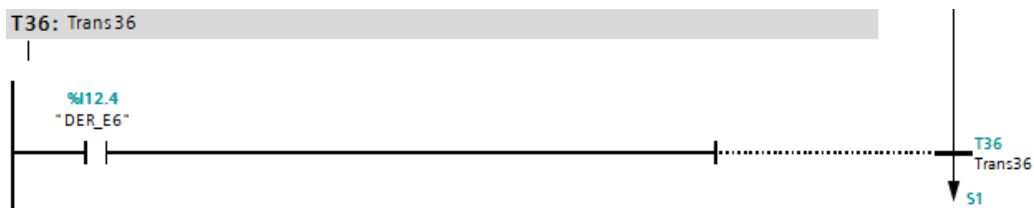


Figura 153 - Transición 36 - Estación de manipulación

En caso de no detectar un pin, en la etapa 34 se realiza la activación del motor de la etapa 4, apaga el piloto de color azul y también el motor de la estación anterior.

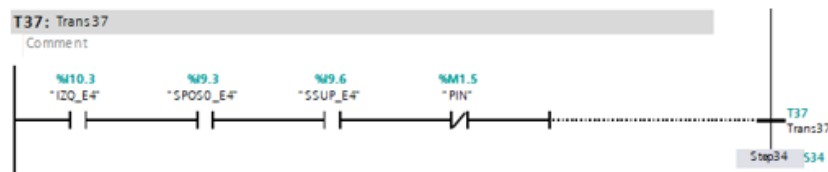


Figura 154 - Transición 37 - Estación de manipulación

| S34: Step34             |       |           |             |                 |
|-------------------------|-------|-----------|-------------|-----------------|
| Comment                 |       |           |             |                 |
| Interlock (c)-: .....   |       |           |             |                 |
| Supervision (v)-: ..... |       |           |             |                 |
| Actions: .....          |       |           |             |                 |
| Interlock               | Event | Qualifier | Action      |                 |
|                         | S     | -Setto 1  | "AVAMOT_E4" | "AVA..." %Q10.0 |
|                         | R     | -Setto 0  | "LED_AZUL"  | "LED..." %Q0.1  |
|                         | R     | -Setto 0  | "AVAMOT_E3" | "AVA..." %Q8.1  |

Figura 155 - Etapa 34 - Estación de manipulación

En la transición 38 se cuenta con el sensor magnético de final de estación para saber cuándo el proceso de esta estación ha concluido.

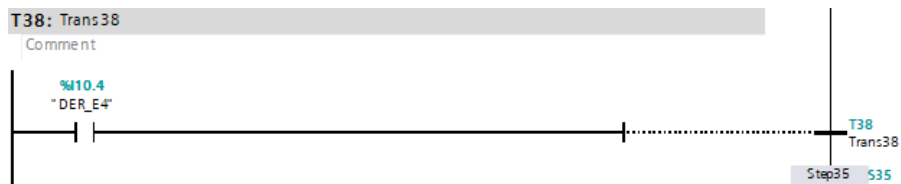


Figura 156 - Transición 38 - Estación de manipulación

#### 4.1.5 ESTACIÓN DE BRAZO ROBÓTICO

La estación de brazo robótico consiste en la corrección mediante un reproceso cuando el color entre caja y tapa no coincide, se tienen dos almacenes de tapas con los dos colores para realizar el trabajo.

En caso de que no se cumplan las condiciones de coincidencia de color, se definen las operaciones para el reproceso de la pieza:

- Detener el pallet.
- Sujetar la pieza.
- El brazo retira la tapa y la lleva al almacén de su color.
- Finalmente, el brazo toma una tapa del color adecuado desde el almacén correspondiente y la dirige hacia la estación para depositarla en la caja.

Definido lo anterior, se da por concluido el objetivo específico 3 de este proyecto.

La estación de brazo robótico cuenta con un cilindro de parada, el cual es controlado por una electroválvula y además posee un sensor magnético para indicar la posición del vástago. Se tienen 4 entradas, las cuales corresponden a la detección de unos finales de carrera que indican que se tiene por lo menos una pieza en los almacenes y que ninguno de estos está lleno. También se cuenta con un actuador lineal el cual tiene la función de aprisionar la caja para poder liberar la tapa fácilmente, este actuador lineal tiene dos sensores que indican su posición y dos señales que controlan su sentido de giro.



*Figura 157 - Estación de brazo robótico*

En la tabla se muestran las variables utilizadas en la programación de esta estación.

| Name                | Data Type | Logical Address | Comment                                  |
|---------------------|-----------|-----------------|--|
| <b>IZQ_E5</b>       | Bool      | %I12.5          | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 5              |
| <b>SCIL_E5</b>      | Bool      | %I11.0          | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E5       |
| <b>SAVAACT_E5</b>   | Bool      | %I11.2          | SENSOR AVANCE ACTUADOR ESTACION 5        |
| <b>SREACT_E5</b>    | Bool      | %I11.1          | SENSOR RETROCESO ACTUADOR ESTACION 5     |
| <b>SPIEB_E5</b>     | Bool      | %I11.3          | SENSOR PIEZAS TAPAS BLANCAS ESTACION 5   |
| <b>SPIEN_E5</b>     | Bool      | %I11.4          | SENSOR PIEZAS TAPAS NEGRAS ESTACION 5    |
| <b>SLENB_E5</b>     | Bool      | %I11.5          | SENSOR BANCO TAPAS BLANCAS LLENO E5      |
| <b>SLENN_E5</b>     | Bool      | %I11.6          | SENSOR BANCO TAPAS NEGRAS LLENO E5       |
| <b>CILPAR_E5</b>    | Bool      | %Q11.0          | CILINDRO PARADA ESTACION 5               |
| <b>AVAACT_E5</b>    | Bool      | %Q11.2          | AVANCE ACTUADOR LINEAL ESTACION 5        |
| <b>REACT_E5</b>     | Bool      | %Q11.1          | RETROCESO ACTUADOR LINEAL ESTACION 5     |
| <b>BLANCO_E5</b>    | Bool      | %Q11.3          | SEÑAL CAMBIO DE TAPA A BLANCO ESTACION 5 |
| <b>NEGRO_E5</b>     | Bool      | %Q11.4          | SEÑAL CAMBIO DE TAPA A NEGRO ESTACION 5  |
| <b>SBRAZO_E5</b>    | Bool      | %I12.6          | SENSOR PROCESO ACABADO BRAZO ESTACION 5  |
| <b>AVAMOT_E5_E6</b> | Bool      | %Q12.1          | AVANCE MOTOR ESTACION 5 y 6              |
| <b>REVMOT_E5_E6</b> | Bool      | %Q12.2          | RETROCESO MOTOR ESTACION 5 y 6           |
| <b>TEMP19</b>       | Bool      | %M2.4           | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION 5         |

Tabla 6 - Tabla de variables - Estación de brazo

La dirección PROFIBUS en esta estación corresponde a la número 6 y utiliza los bytes 11 y 12. En la siguiente figura se visualiza el diagrama de flujo de la estación de brazo

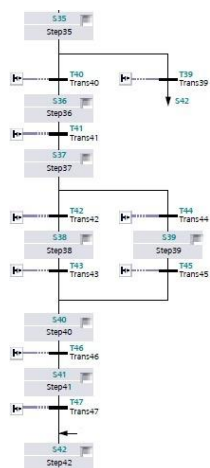


Tabla 7 - Diagrama de flujo de la estación de brazo

En la etapa 35 se enciende el motor de la estación 5 y 6 y además se le da la condición inicial del actuador lineal la cual es en retroceso.

S35: Step35

Comment

► Interlock -(Q):- .....

► Supervision -(v):- .....

▼ Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier  | Action         |
|-----------|-------|------------|----------------|
|           |       | S -Setto 1 | "AVAMOT_ES_E6" |
|           |       | R -Setto 0 | "RETRACT_ES"   |
|           |       | S -Setto 1 | "AVAACT_ES"    |

|         |        |
|---------|--------|
| "AVA... | %Q12.1 |
| "RET... | %Q11.1 |
| "AVA... | %Q11.2 |

Figura 158 - Etapa 35 - Estación de brazo

A continuación, se tienen dos transiciones las cuales detectan si el producto necesita un reproceso o no. En la transición 39 se realiza un salto hasta la etapa 42 para que esta estación no trabaje en caso de que el producto esté correcto. Esta verificación se hace a través de los valores obtenidos en la estación de verificación y también, teniendo en cuenta que los actuadores de la estación 5 estén en condiciones iniciales.



Figura 159 - Transición 39 - Estación de brazo

En la transición 40 también se tienen los sensores de las condiciones iniciales de esta estación, los sensores de los almacenes y la detección de un producto defectuoso.

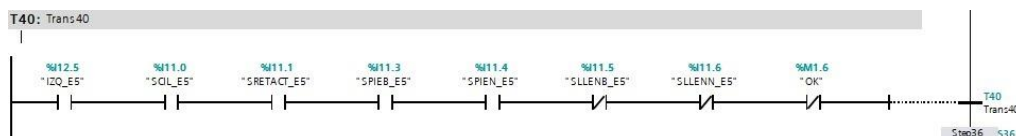


Figura 160 - Transición 40 - Estación de brazo.

En la etapa 36 se activa el cilindro de parada, se enciende el led azul, y se apaga el motor de la banda de la estación 4. También se inicia un temporizador para el tiempo de llegada del pallet. Este tiempo se puede ver ilustrado en la transición 41

| S36: Step36                |       |             |                  |  |                 |
|----------------------------|-------|-------------|------------------|--|-----------------|
| Comment                    |       |             |                  |  |                 |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |             |                  |  |                 |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |             |                  |  |                 |
| ▼ Actions: .....           |       |             |                  |  |                 |
| Interlock                  | Event | Qualifier   | Action           |  |                 |
|                            |       | D -On delay | "TEMP19", T#1.7S |  | "TEM..." %M2.4  |
|                            |       | S -Setto 1  | "CILPAR_E5"      |  | "CIL..." %Q11.0 |
|                            |       | S -Setto 1  | "LED_AZUL"       |  | "LED..." %Q0.1  |
|                            |       | R -Setto 0  | "AVAMOT_E4"      |  | "AVA..." %Q10.0 |
|                            |       | S -Setto 1  | "RETRACT_E5"     |  | "RET..." %Q11.1 |

Figura 161 - Etapa 36 - Estación de brazo

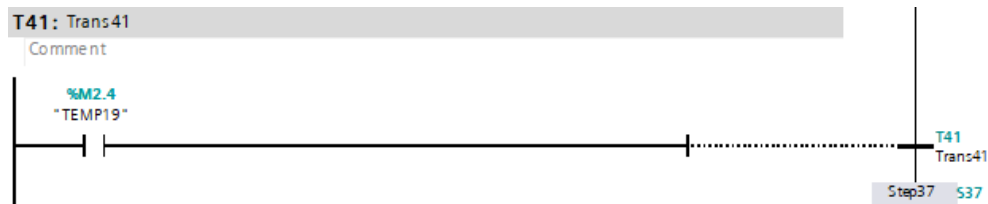


Figura 162 - Transición 41 - Estación de brazo

En la etapa 37 se apaga el motor de las estaciones 5 y 6 y se genera el avance del actuador lineal para aprisionar la caja.

| S37: Step37                |       |            |                |  |                 |
|----------------------------|-------|------------|----------------|--|-----------------|
| Comment                    |       |            |                |  |                 |
| ► Interlock -(c)-: .....   |       |            |                |  |                 |
| ► Supervision -(v)-: ..... |       |            |                |  |                 |
| ▼ Actions: .....           |       |            |                |  |                 |
| Interlock                  | Event | Qualifier  | Action         |  |                 |
|                            |       | R -Setto 0 | "AVAACT_E5"    |  | "AVA..." %Q11.2 |
|                            |       | R -Setto 0 | "AVAMOT_E5_E6" |  | "AVA..." %Q12.1 |

Figura 163 - Etapa 37 - Estación de brazo

En las siguientes transiciones, dependiendo del valor sensado anteriormente en la estación de verificación se realizan diferentes procesos. En la transición 42 se tienen las condiciones iniciales de la estación y la memoria denominada como "BLANCO" para que en la etapa 38 genere una salida que va a ir directamente conectada al controlador del brazo para que este ejecute el programa de un cambio de tapa negra por una blanca.

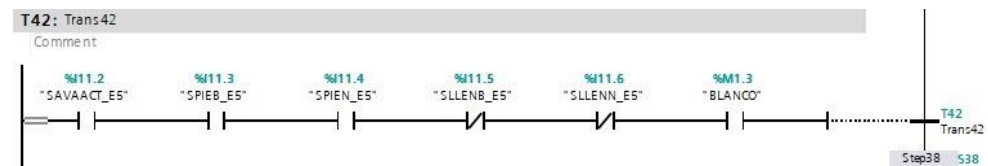


Figura 164 - Transición 42 - Estación de brazo



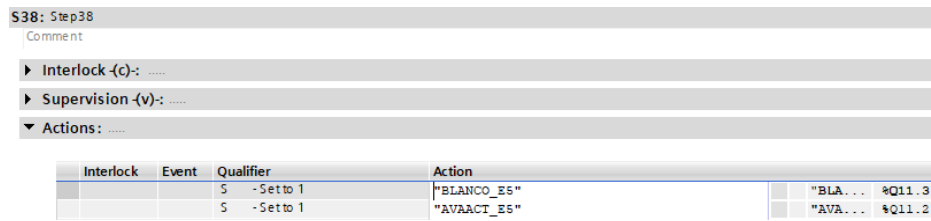


Figura 165 - Etapa 38 - Estación de brazo

Por el contrario, en la transición 44, la cual tiene las mismas señales de activación de la transición 42 con una única diferencia: la activación de la memoria denominada "NEGRO" para que en la etapa 39 se genere una salida hacia el controlador del brazo para ejecutar el programa de un cambio de tapa blanca por una negra.



Figura 166 - Transición 44 - Estación de brazo

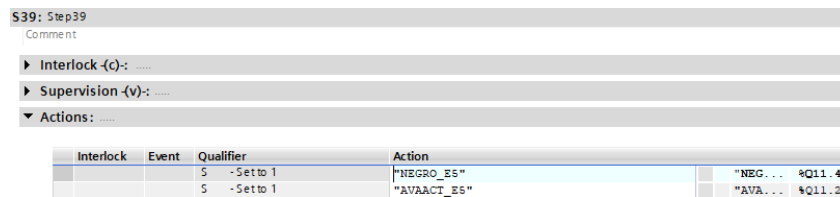


Figura 167 - Etapa 39 - Estación de brazo

Las transiciones 43 y 45 corresponden a una entrada la cual viene directamente del controlador del brazo para indicar que ha finalizado el cambio de tapa.

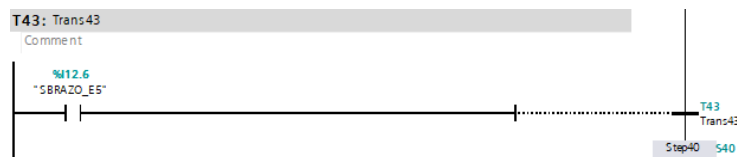


Figura 168 - Transición 43 - Estación de brazo

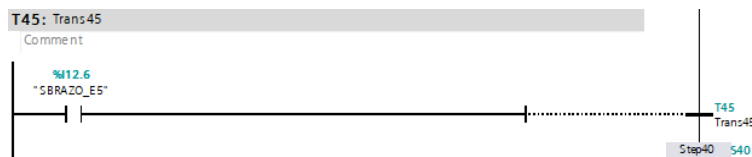


Figura 169 - Transición 45 - Estación de brazo

En la etapa 40 se da el retroceso del actuador lineal para poder liberar el producto y este es verificado en la transición 46 a través del sensor de retroceso del actuador lineal.

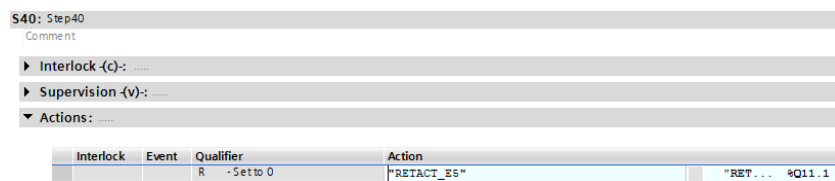


Figura 170 - Etapa 40 - Estación de brazo

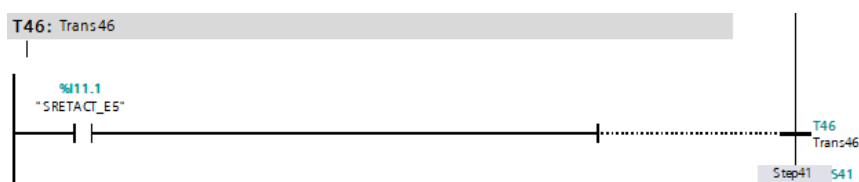


Figura 171 - Transición 46 - Estación de brazo

En la etapa 41 se retrocede el cilindro de parada de la estación, se apaga el led azul indicando que la estación acabó proceso y se setea el valor de retroceso del actuador para que este no envíe más señales. En la transición 47 se verifica que el cilindro retornó correctamente, que el actuador lineal se encuentra en la posición de retroceso y que en el banco de pines haya por lo menos una pieza.

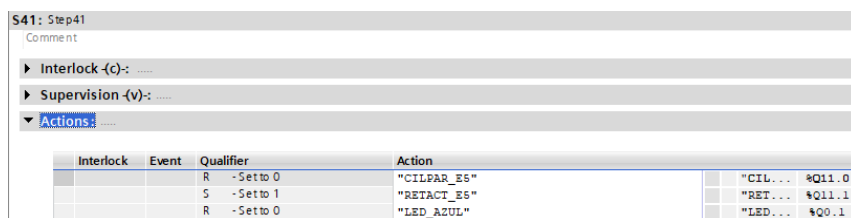


Figura 172 - Etapa 41 - Estación de brazo

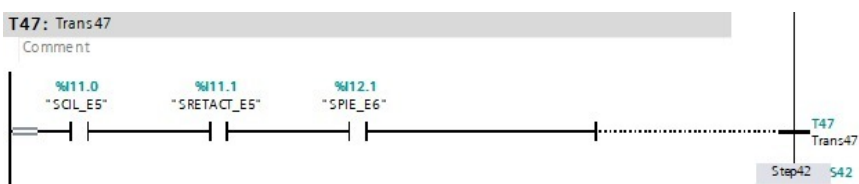


Figura 173 - Transición 47 - Estación de brazo

En la etapa 42 se realiza de nuevo el encendido del motor de las estaciones 5 y 6, y se apaga el motor de la estación 4 debido a si se presenta un salto desde la transición 39. También se vuelve a setear el actuador en caso de que ocurra dicho salto.

| S42: Step42        |       |           |                |
|--------------------|-------|-----------|----------------|
| Comment            |       |           |                |
| ► Interlock (c):   |       |           |                |
| ► Supervision (v): |       |           |                |
| ▼ Actions:         |       |           |                |
| Interlock          | Event | Qualifier | Action         |
|                    | S     | -Setto 1  | "AVAMOT_E5_E6" |
|                    | R     | -Setto 0  | "AVAMOT_E4"    |
|                    | S     | -Setto 1  | "RETRACT_E5"   |

Figura 174 - Etapa 42 - Estación de brazo

#### 4.1.6 ESTACIÓN DE ENSAMBLAJE DE PINES

La estación del ensamblador automático de pines consiste en insertar un pin metálico entre la caja y la tapa para ensamblar estos dos componentes. Esto se hace posible gracias a un cilindro controlado por una electroválvula y el cual tiene un sensor magnético de posición, al igual que el anterior, se tiene un cilindro de parada con las mismas condiciones de trabajo. Esta estación cuenta con dos sensores inductivos: uno para verificar que haya pines en el almacén y el otro para verificar la inserción correcta del pin en la pieza.

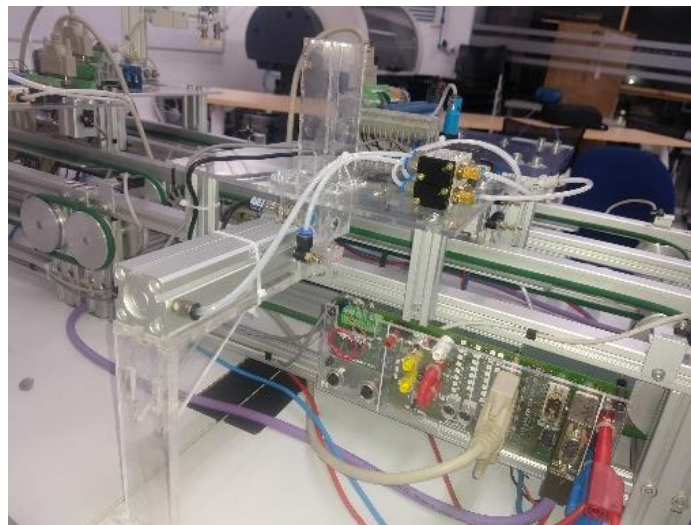


Figura 175 - Estación de ensamblaje

A continuación, se mostrará la tabla de variables utilizadas en esta estación.

| Name             | Data Type | Logical Address | Comment                              |
|------------------|-----------|-----------------|--------------------------------------|
| <b>IZQ_E6</b>    | Bool      | %I12.3          | SENSOR IZQUIERDO ESTACION 6          |
| <b>DER_E6</b>    | Bool      | %I12.4          | SENSOR DERECHO ESTACION 6            |
| <b>SCIL_E6</b>   | Bool      | %I11.7          | SENSOR POSICION CILINDRO PARADA E6   |
| <b>SCILP_E6</b>  | Bool      | %I12.0          | SENSOR CILINDRO PIN ESTACION 6       |
| <b>SPIE_E6</b>   | Bool      | %I12.1          | SENSOR DE PIEZA ESTACION 6           |
| <b>SPIN_E6</b>   | Bool      | %I12.2          | SENSOR DE PIN ESTACION 6             |
| <b>CILPAR_E6</b> | Bool      | %Q11.5          | CILINDRO PARADA ESTACION 6           |
| <b>CILPIN_E6</b> | Bool      | %Q11.6          | CILINDRO PIN ESTACION 6              |
| <b>TEMP20</b>    | Bool      | %M2.5           | TIEMPO LLEGADA PALLET ESTACION 6     |
| <b>TEMP22</b>    | Bool      | %M2.7           | TEMPORIZADOR SENSOR PIEZA ESTACION 6 |

Tabla 8 - Tabla de variables - Estación de ensamblaje

La dirección PROFIBUS de esta estación es la misma que la anterior, ya que ambas están controladas por la misma tarjeta esclavo.

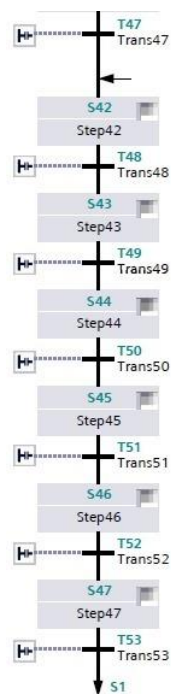


Figura 176 - Diagrama de flujo - Estación ensamblaje

En la transición 48 se tiene el sensor magnético de entrada a la estación, el sensor de retroceso del cilindro de parada, el sensor magnético del cilindro de pines y el sensor inductivo que detecta los pines.

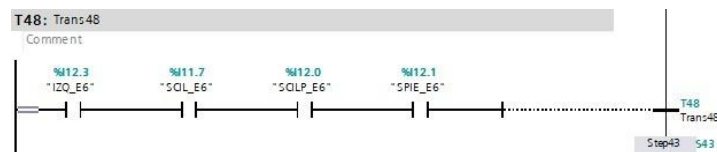


Figura 177 - Transición 48 - Estación de ensamblaje

En la etapa 43 se activa el cilindro de parada, se enciende el led azul y se activa un temporizador para la llegada del pallet, este temporizador es evaluado en la transición 49.

S43: Step43  
Comment

Interlock (i): .....

Supervision (v): .....

Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier  | Action           |
|-----------|-------|------------|------------------|
|           | D     | - On delay | "TEMP20", T#1.5S |
|           | S     | - Set to 1 | "CILPAR_E6"      |
|           | S     | - Set to 1 | "LED_AZUL"       |

Figura 178 - Etapa 43 - Estación de ensamblaje

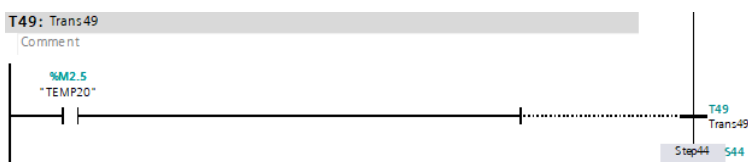


Figura 179 - Transición 49 - Estación de ensamblaje

En la etapa 44 se desactiva el motor de las estaciones 5 y 6 y se activa el cilindro para que inserte el pin en la pieza, para verificar el correcto ensamble, se cuenta con un sensor inductivo, el cual envía una señal cuando detecta el pin y esta es utilizada en la transición 50.

S44: Step44  
Comment

Interlock (i): .....

Supervision (v): .....

Actions: .....

| Interlock | Event | Qualifier  | Action         |
|-----------|-------|------------|----------------|
|           | R     | - Set to 0 | "AVAMOT_E5_E6" |
|           | S     | - Set to 1 | "CILPIN_E6"    |

Figura 180 - Etapa 44 - Estación de ensamblaje

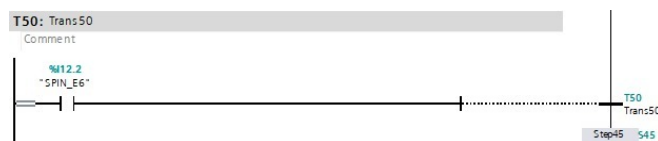


Figura 181 - Transición 50 - Estación de ensamblaje

En la etapa 45 luego de detectar el pin ensamblado correctamente, el cilindro retrocede a su posición inicial y se hace la verificación en la transición 51 mediante el sensor magnético del cilindro de pines.

| S45: Step45               |       |           |                 |
|---------------------------|-------|-----------|-----------------|
| Comment                   |       |           |                 |
| ► Interlock {-}: .....    |       |           |                 |
| ► Supervision {-v}: ..... |       |           |                 |
| ▼ Actions: .....          |       |           |                 |
| Interlock                 | Event | Qualifier | Action          |
|                           | R     | -Setto 0  | "CILPIN_E6"     |
|                           |       |           | "CIL... %Q11.6" |

Figura 182 - Etapa 45 - Estación de ensamblaje

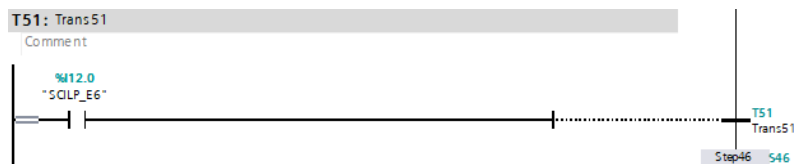


Figura 183 - Transición 51 - Estación de ensamblaje

En la etapa 46 el cilindro de parada vuelve a su posición inicial para darle paso al pallet con el ensamble, lo anterior se verifica en la transición 52 a través del sensor del cilindro de parada.

| S46: Step46               |       |           |                 |
|---------------------------|-------|-----------|-----------------|
| Comment                   |       |           |                 |
| ► Interlock {-}: .....    |       |           |                 |
| ► Supervision {-v}: ..... |       |           |                 |
| ▼ Actions: .....          |       |           |                 |
| Interlock                 | Event | Qualifier | Action          |
|                           | R     | -Setto 0  | "CILPAR_E6"     |
|                           |       |           | "CIL... %Q11.5" |

Figura 184 - Etapa 46 - Estación de ensamblaje



Figura 185 - Transición 52 - Estación de ensamblaje

Finalmente, en la etapa 47 se activa el motor de las estaciones 5 y 6 para llevar el ensamble hacia la posición final, se apaga el led azul y al momento de entrar en contacto con el sensor magnético de salida de estación, en la transición 53 se genera un salto que reinicia el programa hasta la etapa 1.

| S47: Step47               |       |           |                 |
|---------------------------|-------|-----------|-----------------|
| Comment                   |       |           |                 |
| ► Interlock {-}: .....    |       |           |                 |
| ► Supervision {-v}: ..... |       |           |                 |
| ▼ Actions: .....          |       |           |                 |
| Interlock                 | Event | Qualifier | Action          |
|                           | S     | -Setto 1  | "AVAMOT_E5_E6"  |
|                           | R     | -Setto 0  | "LED_AZUL"      |
|                           |       |           | "AVA... %Q12.1" |
|                           |       |           | "LED... %Q0.1"  |

Figura 186 - Etapa 47 - Estación de ensamblaje



*Figura 187 - Transición 53 - Estación de ensamblaje*

## CAPÍTULO 5: PROGRAMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

El brazo robótico Kawasaki RS003N posee distintos métodos de programación. En este caso, se empleó el método de programación Teach Pendant, el cual consiste en grabar movimientos realizados manualmente mediante el panel de control del brazo.

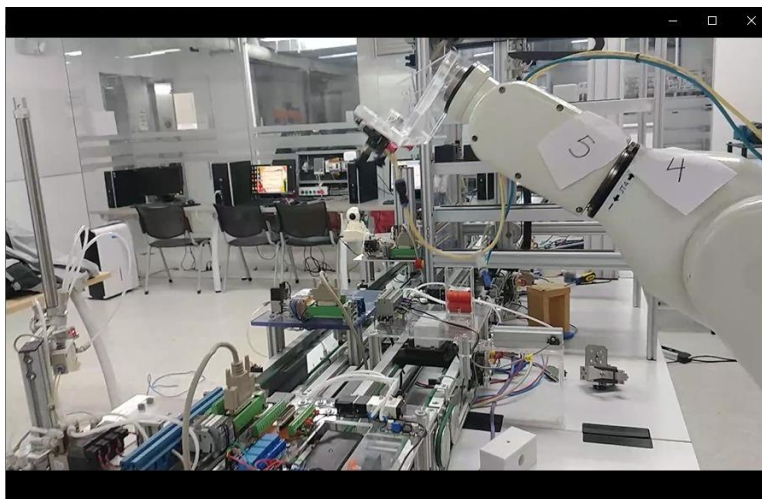
El brazo robótico cuenta con 3 modos de operación: Manual, Teach y Repeat, los cuales se deben seleccionar tanto en una perilla que está en la consola de control del brazo como en una perilla que está en el control del brazo, si ambos selectores no coinciden, el brazo no podrá trabajar

En el modo Manual el brazo se opera directamente desde los controles de posición del mando, mediante sus ejes de operación o grados de libertad. En este modo se aprendió a identificar cada movimiento del brazo para tener un conocimiento previo a su programación.

En el modo teach se van guardando movimientos gradualmente y según sean correctos o no, se pueden grabar en la memoria oprimiendo la tecla “REC” del mando o se pueden descartar. Cabe tener en cuenta que el brazo interpola todos los movimientos guardados buscando así la secuencia más fluida posible.

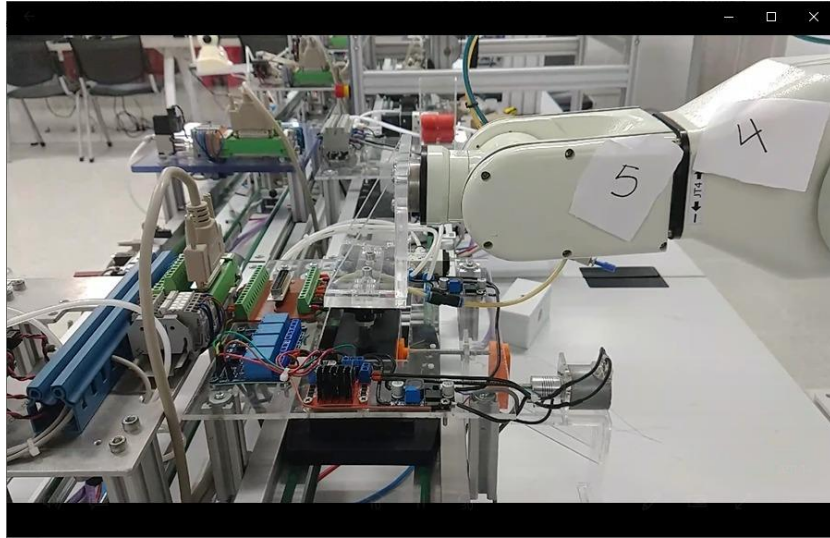
Los movimientos que se realizaron para programar el brazo robótico por medio del método teach pendant fueron los siguientes:

El primer movimiento consiste en retirar la tapa de la caja presente en la estación. Para esto se debió tener precaución de no colisionar la placa de acrílico con el brazo. Este movimiento se puede visualizar en las figuras 186 y 187.



*Figura 188 – Programación de brazo - Secuencia 1*

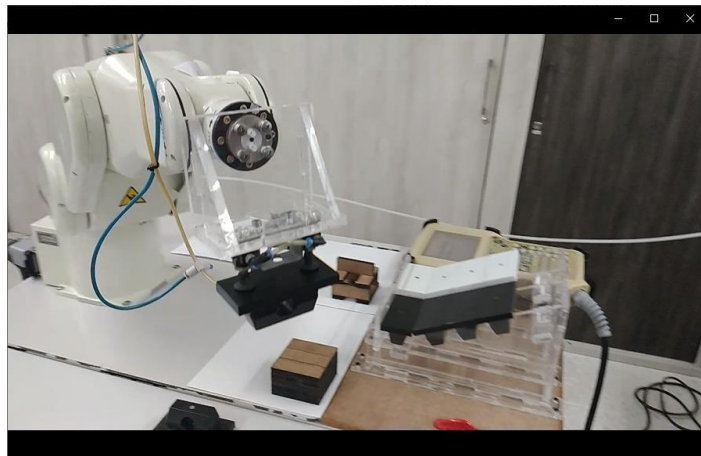




*Figura 189 – Programación de brazo - Secuencia 1 - Vista 2*

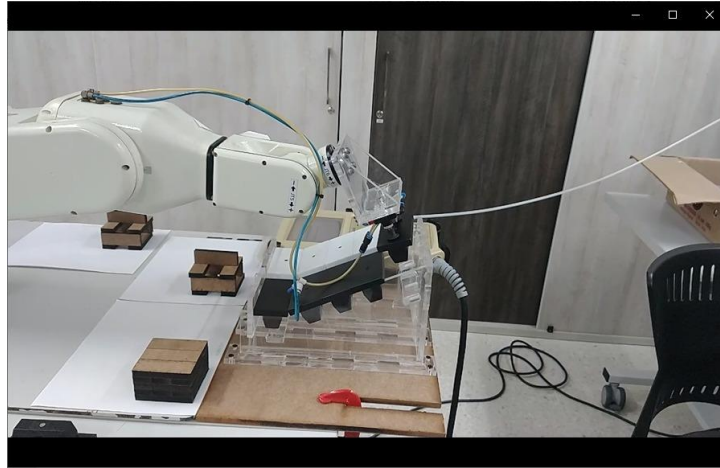
Después, se procede a depositar la tapa que se obtuvo en la anterior secuencia en el almacén de tapas correspondiente. Siempre se deposita la pieza en el almacén como si esta fuera la última, esto con el fin de evitar hacer más programas que cumplan la misma función. Por lo anterior, se diseñó un almacén con una inclinación, para que la tapa caiga por gravedad en caso de no ser la última.

En la figura 188 se puede visualizar cuando el brazo está dirigiendo la tapa de la estación a los almacenes.



*Figura 190 - Programación de brazo - Secuencia 2 - Vista 1*

Mientras que en la figura 189 se visualiza el momento en el que el brazo deposita la tapa en su respectivo almacén.



*Figura 191 - Programación de brazo - Secuencia 2 - Vista 2*

El siguiente paso consiste en hacer el reproceso con la pieza del color coincidente con la caja. Para esto se diseñó en el almacén un tope inferior totalmente horizontal, esto con el primer propósito de facilitar la programación, ya que así es más sencillo sujetar la pieza con la ventosa del robot, y segundo, para evitar que la ventosa haga sobre esfuerzos, ya que esta está diseñada para sujetar elementos de forma vertical.

En la figura 190 se aprecia como el brazo toma la caja desde la parte inferior del almacén, como se mencionó anteriormente.



*Figura 192 - Programación de brazo - Secuencia 3 - Vista 1*

En la figura 191 se visualiza como el brazo desplaza la pieza de los almacenes a la estación para poder hacer el reproceso



*Figura 193- Programación de brazo - Secuencia 3 - Vista 2*

Para finalmente insertarlo en la caja presente en la estación y dar así por concluido el reproceso. En la figura 192 se visualiza el momento en el que el brazo finaliza el reproceso.



*Figura 194 - Programación de brazo - Final del reproceso*

Finalmente, se procede a alternar el brazo en el modo de operación Repeat, el cual permitirá reproducir el programa paso por paso o todo en serie, cuantas veces sea necesario, ya sea para corregir errores o para desempeñar la tarea por la cual se programó. En la siguiente figura se visualiza el mando con el cual se opera y programa el brazo robótico.



*Figura 195 - Controlador del brazo robótico*

## CAPITULO 6: ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez terminadas las etapas de diseño, construcción y programación de cada estación, se procedió a realizar una serie de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de cada estación individualmente. En el transcurso del periodo de pruebas se presentaron algunos defectos que significaron contratiempos que retrasaron el tiempo estimado de ejecución de cada objetivo. A continuación, se explica a detalle el procedimiento de los análisis de pruebas y resultados.

### 6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA ESTACIÓN DE PINES.

En la estación de pines el proceso fue realmente sencillo, ya que se hicieron varias pruebas y en su mayoría fueron exitosas.

Uno de los problemas en la estación de pines era la falta de pines de aluminio para operar con el almacén, por lo tanto, se desactivó el sensor inductivo que detecta la presencia o ausencia de pines dentro del almacén para trabajar con unos pines de pasta plástica de forma idéntica a los pines de aluminio. En la figura 196 se muestran los pines con los que se hicieron las pruebas.



*Figura 196 - Pines de ensamble de la celda*

Otro problema que se tuvo fue que gracias a principalmente dos factores se tuvo que reemplazar el almacén de pines: El primero fue el desprendimiento de la tapa inferior del almacén y el segundo fue una pequeña elevación en la parte trasera del cilindro, lo que hizo que el vástago no entrara de la manera correcta y colisionara con el almacén. En la figura 197 se visualiza la pequeña elevación en la parte trasera del cilindro.



*Figura 197 - Elevación en la parte trasera del cilindro*

En el almacén de pines se reemplazaron las piezas averiadas y se hizo un segundo almacén de pines como repuesto. En la figura 198 se visualiza el almacén de pines adicional que se fabricó como prevención ante futuros daños del almacén en uso.



*Figura 198 - Almacén de pines de repuesto*

Omitiendo los errores anteriormente mencionados, la estación de ensamblaje de pines no presentó problemas considerables, cumplió su función desde la primera vez que se probó. Se corrigieron los errores pertinentes y la estación quedó en condiciones para funcionar a cabalidad.

## **6.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DE LA ESTACIÓN DE BRAZO**

El proceso de pruebas de la estación de brazo fue bastante extenso, ya que, además de todo lo que involucra, se presentaron varios contratiempos que hicieron que su finalización se postergara en varias ocasiones.

Para comenzar, el primer contratiempo fue la posición del actuador lineal. Este elemento, como ya se ha mencionado anteriormente, debe quedar concéntrico con el centro del orificio de la caja, para el correcto encaje del tapón. Para fijar el actuador a la celda, hubo que perforar una tarjeta de acero inoxidable en varias ocasiones. La primera vez hubo que desplazar unos elementos lo que afectó la



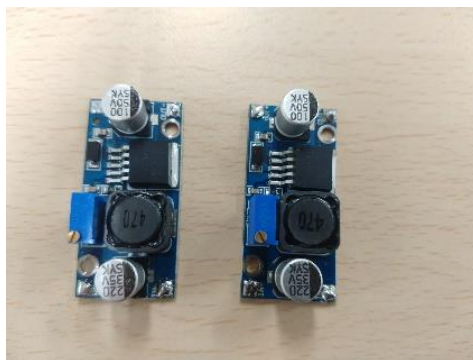
posición del actuador lineal, y la segunda vez fue por errores en la perforación de la tarjeta de acero inoxidable.

Después de haber terminado todas las conexiones eléctricas, el motor del actuador lineal no trabajaba debidamente: Una vez completaba el retroceso y hacía contacto con el final de carrera, este avanzaba unos milímetros, los suficientes para volver a aprisionar la pieza que se supone debía haber soltado, pudiendo ocasionar un daño mecánico en el mismo actuador. Cabe tener en cuenta que inicialmente al motor del actuador lineal se le diseñó un circuito de protección pensando en futuros errores de programación que pudieran dañar el motor, sin embargo, fue este circuito el que empezó a generar los problemas.

Se pensó inicialmente algunas tensiones estaban retornando al motor, generando así ese ruido que causaba el movimiento indeseado. Para tratar de solucionar este problema se dispusieron dos diodos en el contacto normalmente abierto de cada final de carrera para evitar que retornaran tensiones. Sin embargo, esto no funcionó.

Después, se hicieron algunas modificaciones en el circuito bajo la teoría de que el error estaba en el diagrama de circuito, y se replantearon varias veces las conexiones, pero en un punto dejaron de funcionar los finales de carrera y hasta se llegó a pensar que se habían averiado. Se removieron unos puentes que se tenían entre los módulos elevadores de voltaje y el circuito volvió a la normalidad, con los errores previos, por supuesto.

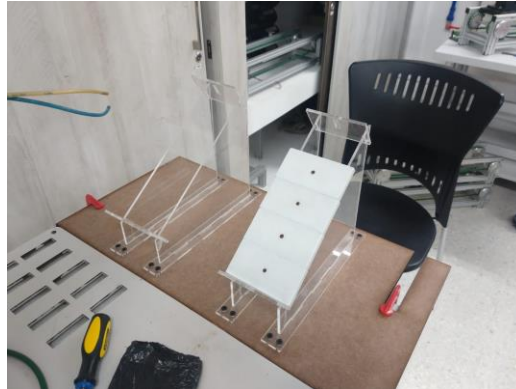
Dado a que este error ya estaba demandando demasiado tiempo se optó por quitar el circuito de protección y enviar la señal directa al PLC. De la placa de acrílico se removieron dos módulos elevadores de voltaje, los cuales se usaron en el circuito de protección. En la figura 199 se visualizan los dos módulos elevadores removidos de la estación.



*Figura 199 - Módulos elevadores removidos de la estación de brazo*

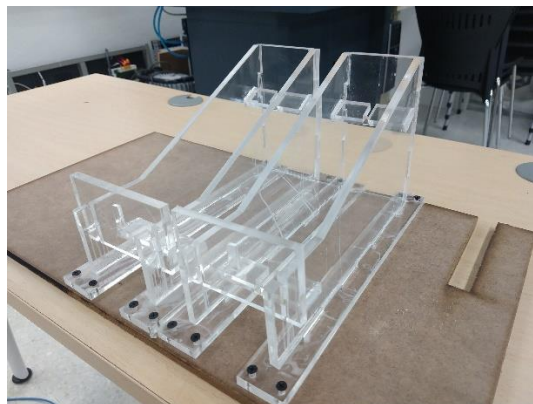
Ya entrando en lo que tiene que ver directamente con el brazo, lo único que tuvo que ser replanteado más de una vez fue el almacén de tapas y su placa extensora.

En primera instancia se fabricaron los almacenes en acrílico de 4mm, lo que ocasionaba que este sufriera fracturas ante colisiones propias del proceso. En la figura 200 se visualizan los primeros almacenes de tapas utilizados para la estación de brazo.



*Figura 200 - Almacenes de tapas de acrílico de 4mm*

También se determinó en base a los primeros almacenes que el ángulo de inclinación dificultaba la programación del brazo, y además se debía fabricar un prototipo de almacén que evitara hacer esfuerzos excesivos con la ventosa y además permitiera en lo posible tanto sujetar como soltar la pieza de manera perpendicular a su superficie. En la figura 201 se visualizan los almacenes que se hicieron en acrílico de 8mm para garantizar la resistencia de los mismos ante colisiones mecánicas y que además tienen el tope inferior a 90 grados para facilitar el agarre por parte de la ventosa.



*Figura 201 - Almacenes de tapas utilizados finalmente*



## CAPITULO 7: MARCO LEGAL

Dentro de la construcción de un sistema relacionado con la automatización industrial se deben tener en cuenta ciertos lineamientos legislativos que varían según el país. Estos lineamientos especifican tanto condiciones de operación permitidas como condiciones de seguridad.

- IEC 61131

El estándar internacional IEC 61131 se aplica a los autómatas programables (PLC) y sus periféricos asociados tales como herramientas de programación y depuración (PADT's), elementos de interfaz hombre – máquina (HMI), etc, los cuales han sido diseñados para el control de procesos industriales y maquinaria.

Los PLC's y sus periféricos asociados diseñados para ser empleados en un entorno industrial pueden presentarse como componentes abiertos o cerrados. Sin un PLC o uno de sus componentes es empleado en un entorno no industrial, se deben tener en cuenta las normas, estándares, guías de instalación y aplicación y requisitos propios de ese entorno en adición a los propios de los PLC's y sus componentes.

La funcionalidad de un PLC generalmente es implementada en una plataforma hardware y software específica, pero en ocasiones también puede ser implementada en un ordenador de propósito general u ordenador personal con características constructivas industriales. Este estándar se aplica a cualquier producto que implemente la funcionalidad de un PLC y/o las características propias de sus componentes o periféricos asociados. Desde este punto de vista, este estándar hace referencia a los aspectos de seguridad propios del PLC como dispositivo físico, tales como riesgo de descarga eléctrica, incendio, inmunidad ante interferencias electromagnéticas y detección de errores de funcionamiento del PLC (por ejemplo, uso de rutinas de autodiagnóstico, uso de chequeo de paridad, etc.)

Por tanto, este estándar no se aplica a la seguridad funcional u otros aspectos del sistema automatizado en su conjunto, entendiendo como tal, la suma de las partes operativa, de mando, y de supervisión.

En la actualidad aún siguen persistiendo sistemas de control específicos del fabricante, con programación dependiente y conexión compleja entre distintos sistemas de control. Esto significa para el usuario costos elevados, escasa flexibilidad y falta de normalización en las soluciones al control industrial [19].

## PRESUPUESTO

Inicialmente se pensaba solicitar recursos de la universidad para el planeamiento y la ejecución de este proyecto, con la justificación de que este iba de cierta forma a beneficiar al programa de Ingeniería Mecatrónica y a la universidad en general. Sin embargo, el tiempo estimado para que aprobaran la solicitud de obtener recursos universitarios era bastante largo, y la agenda no daba espera. Por lo tanto, este proyecto se construyó netamente con recursos propios, ya sean económicos o humanos. A continuación se muestra la tabla del presupuesto invertido en los recursos directos durante la ejecución de este proyecto.

| Presupuesto de Proyecto                                    |                 |  |          |                       |                 |
|--|-----------------|--|----------|-----------------------|-----------------|
| Proyecto   |                 | PROYECTO DE GRADO  |          | Duración del proyecto |                 |
| Lider  |                 | ANDRÉS FELIPE MORENO SIERRA - ADRIAN STEVEN CARDONA RIOS |          | 4 MESES               |                 |
| Costos directos  | \$              | 970.440,00   |          | Presupuesto           | \$ 3.391.440,00 |
| Costos indirectos  | \$              | 2.421.000,00   |          | Riesgo                | \$ 339.144,00   |
| Reserva para riesgos                                       |                 | 10%  |          | Total                 | \$ 3.730.584,00 |
| Costos Directos  |                 |  |          |                       |                 |
| Elemento   | Tipo de recurso | Tipo de Unidad   | Unidades | Precio por unidad     | Costo           |
| Lámina de acrílico original 60 X90 4 mm                    | Material        | unidad   | 1        | 89000                 | 89000           |
| Lámina de acrílico original 30 X 40 2 mm                   | Material        | unidad   | 1        | 10000                 | 10000           |
| Perfil de aluminio 20 x 20                                 | Material        | centímetros  | 100      | 524                   | 52400           |
| Racor rosca 3/8 manguera 4 mm                              | Material        | unidad   | 3        | 2600                  | 7800            |
| Reducción de 6 mm a 4 mm manguera 6 mm                     | Material        | unidad   | 3        | 3200                  | 9600            |
| Reducción bushing con racor rosca 1/4 manguera 4 mm        | Material        | unidad   | 3        | 3800                  | 11400           |
| Reductores buck lm2596 de 24 a 12 v                        | Material        | unidad   | 2        | 6500                  | 13000           |
| Resistencias para reducir de 24 a 5v (1k y 4k o 1k y 3.8k) | Material        | pares  | 4        | 800                   | 3200            |
| Módulo relé 4 canales 24 V                                 | Material        | unidad   | 1        | 31700                 | 31700           |
| Conectores jumper  | Material        | unidad   | 3        | 600                   | 1800            |
| Tornillos  | Material        | unidad   | 6        | 600                   | 3600            |
| Tuerca muestra   | Material        | unidad   | 6        | 600                   | 3600            |
| Rodamientos tornillo                                       | Material        | unidad   | 6        | 1800                  | 10800           |
| Acople flexible 5x5  | Material        | unidad   | 3        | 16000                 | 48000           |
| Pegante para lámina de acrílico                            | Material        | botella  | 1        | 6740                  | 6740            |
| Motores de 24 v  | Material        | unidad   | 2        | 40000                 | 80000           |
| Driver motor   | Material        | unidad   | 1        | 16700                 | 16700           |
| Sensor inductivo 24 v                                      | Material        | unidad   | 2        | 16700                 | 33400           |
| Racor m 5x4 mm   | Material        | unidad   | 1        | 8150                  | 8150            |
| Varilla lisa d=5mm L=160mm                                 | Material        | unidad   | 1        | 3000                  | 3000            |
| Porta machuelo   | Material        | unidad   | 1        | 9100                  | 9100            |
| Machuelo 4mm   | Material        | unidad   | 1        | 9600                  | 9600            |
| Tornillos  | Material        | docena   | 3        | 7200                  | 21600           |
| Jeringa  | Material        | unidad   | 1        | 500                   | 500             |
| Disco de corte mototool                                    | Material        | unidad   | 1        | 5000                  | 5000            |
| Broca 3.5 mm para perforar aluminio mototool               | Material        | unidad   | 1        | 2600                  | 2600            |
| Broca 2mm para mototool                                    | Material        | unidad   | 1        | 2800                  | 2800            |
| Tornillos para motor                                       | Material        | docena   | 1        | 2800                  | 2800            |
| Finales de carrera   | Material        | unidad   | 4        | 4000                  | 16000           |
| Aceite 3 en 1 para hacer rosca                             | Material        | unidad   | 1        | 3100                  | 3100            |
| Pestillos de palanca                                       | Material        | unidad   | 2        | 7000                  | 14000           |
| Tornillos para pestillo                                    | Material        | docena   | 1        | 1000                  | 1000            |
| Elevadores boost   | Material        | unidad   | 2        | 20000                 | 40000           |
| Tuercas tipo t   | Material        | docena   | 1        | 15000                 | 15000           |
| Tornillos  | Material        | unidad   | 1        | 10500                 | 10500           |
| Cilindros de parada  | Material        | unidad   | 2        | 36200                 | 72400           |
| Válvulas   | Material        | unidad   | 3        | 28450                 | 85350           |
| Reguladores de caudal                                      | Material        | unidad   | 5        | 1100                  | 5500            |
| Sensores inductivos complementarios                        | Material        | unidad   | 5        | 10000                 | 50000           |
| Sensores capacitivos                                       | Material        | unidad   | 4        | 15450                 | 61800           |
| Sensores magnéticos  | Material        | unidad   | 2        | 20900                 | 41800           |
| Cilindro ensamblador                                       | Material        | unidad   | 1        | 56100                 | 56100           |

Tabla 9 – Costos directos de ejecución

Al costo de los materiales usados en la construcción del proyecto, se le suman los costos indirectos, los cuales corresponden a rubros tales como desplazamiento(transporte), alimentación, asesorías, entre otros.

#### Costos Indirectos

| Elemento    | Tipo de recurso | Tipo de Unidad | Unidades | Precio por unidad | Costo Indirecto |
|-------------|-----------------|----------------|----------|-------------------|-----------------|
| Transportes | Logístico       | unidad         | 480      | 2200              | 1056000         |
| Refrigerios | Logístico       | unidad         | 90       | 3500              | 315000          |
| Almuerzos   | Logístico       | unidad         | 90       | 7000              | 630000          |
| Asesorías   | Asesor          | hora           | 7        | 60000             | 420000          |

*Tabla 10 - Costos indirectos de ejecución*

## CONCLUSIONES

- La programación del brazo robótico Kawasaki RS003N se puede realizar usando el método teach pendant, grabando gradualmente los movimientos requeridos en la memoria y después ejecutarlos para que el brazo realice una tarea en específico.
- Para poder programar el brazo robótico mediante el método teach pendant de una manera fluida y sin interrupciones, es necesario que el operario tenga experiencia manejando este tipo de artefactos, ya que de esa manera disminuye las pruebas ensayo-error, y aunque el brazo robótico tiene la capacidad de interpolar todos los movimientos que se guarden en su memoria, en ocasiones esto no es suficiente para que el programa ejecutado por el brazo sea fluido y sin errores.
- El lenguaje más utilizado en la programación de PLC's es el Ladder, sin embargo, para los ejercicios de tipo secuencial, el graficet ofrece mejores características a la hora de programar.
- En el campo de la automatización industrial es posible mejorar los procesos de manufactura partiendo de las más grandes fallencias que pueda tener una cadena de producción y basándose en las mismas para así poder plantear soluciones ya sea para mejorar un proceso o para completar un ciclo inconcluso.
- Los sensores son indispensables en el campo de la automatización industrial, ya que estos son los encargados de modificar el valor de las variables que se esperan controlar.

## RECOMENDACIONES

- En el momento de programar la estación de brazo se debe tener cuidado con el actuador lineal, ya que este no tiene circuito de protección a la hora de avanzar o retroceder, por ello, en la programación se debe limitar con los sensores de los topes de avance y retroceso.
- En el momento de ejecutar los programas realizados por el brazo robótico, se debe tener presente que los pestillos de palanca de la mesa del brazo y de la mesa de la celda deben estar alineados, esto con el fin de respetar la posición del brazo, ya que el método de programación teach pendant graba posiciones específicas en un plano R3 tomando el eje central del brazo como punto de referencia.
- Teniendo en cuenta las fallas de comunicación de la celda de manufactura, se debe tener precaución en el momento en el que el pallet entre a la estación 5 o a la estación 6, ya que, si la banda transportadora se llega a detener antes de que el pallet haga contacto con el tope del cilindro de parada, el actuador lineal o el cilindro de ensamble podrían ejercer fuerza sobre una superficie que no sea el orificio de la pieza, pudiendo causar daños en el sistema.
- Hay algunas tapas que no cuentan con el balín que suele fijar el pin cuando es ensamblado en la pieza. También hay otras tapas que necesitan una fuerza mayor para poder que el pin pueda entrar. Estas podrían causar daños en la estación de ensamblaje, ya sea porque el cilindro sufra un levantamiento por exceso de fuerza o porque el pin no fije en la tapa y colisione con el sensor inductivo.

## ANEXOS

- Vistas de los diseños realizados en CAD de la estación de pines

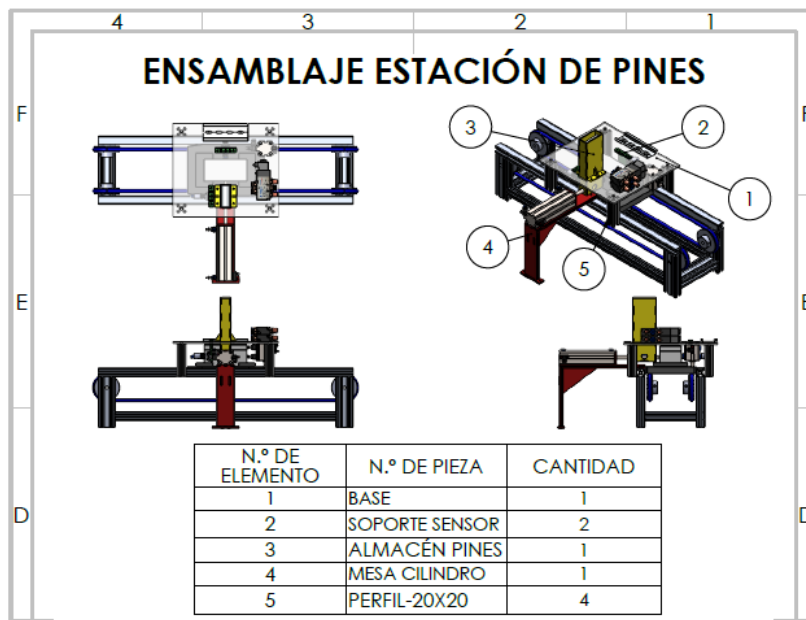


Tabla 11 - Vistas estación de pines – Visión general

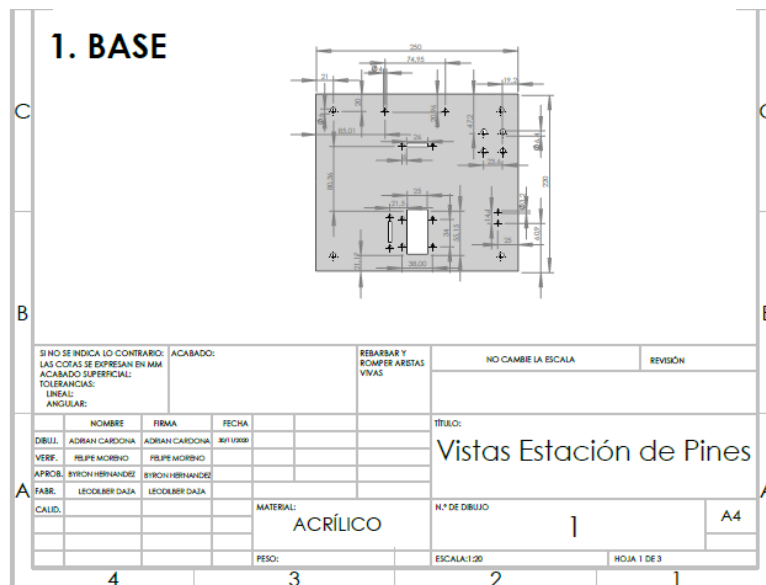


Tabla 12 - Vistas estación de pines – Base

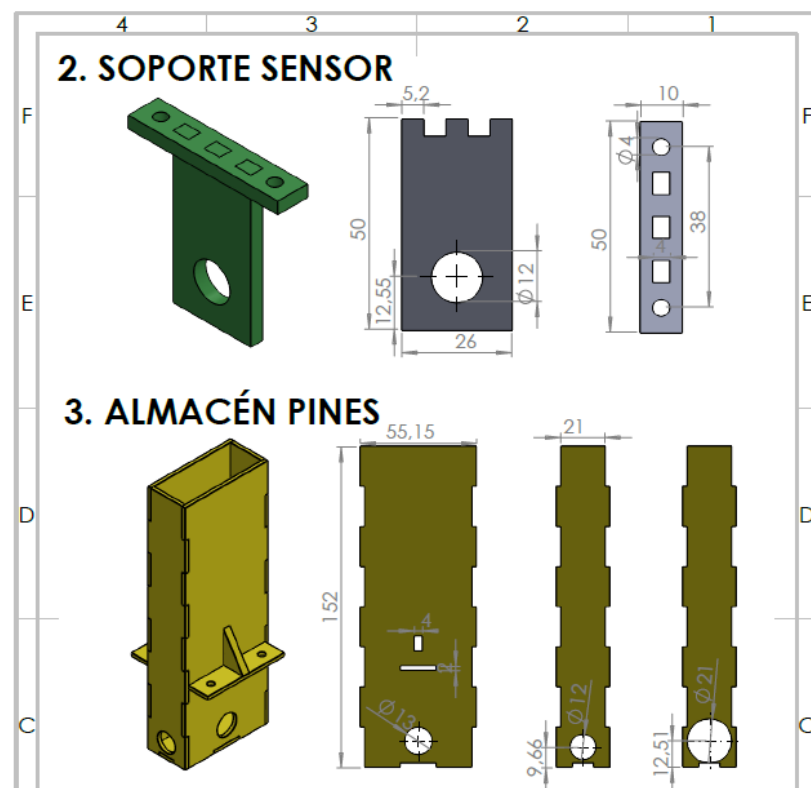


Tabla 13 - Vistas estación de pines - Soporte sensor y almacén pines

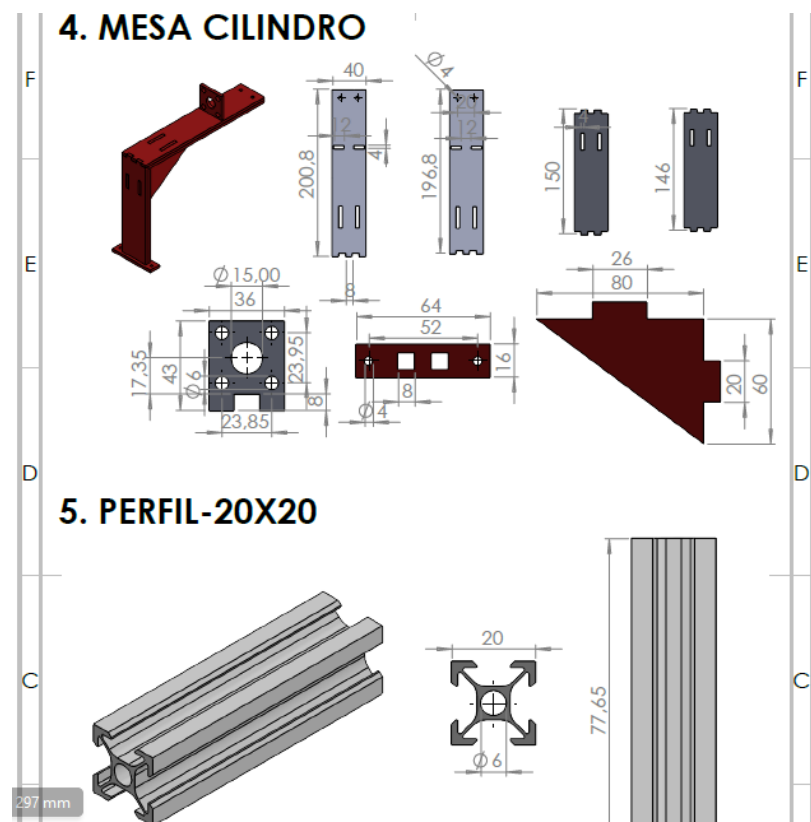


Tabla 14 - Vistas estación de pines - Mesa cilindro y perfil 20x20

|   |                 |                 |            |                                       |  |                          |  |             |  |
|---|-----------------|-----------------|------------|---------------------------------------|--|--------------------------|--|-------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM<br>ACABADO SUPERFICIAL:<br>TOLERANCIAS:<br>LINEAL:<br>ANGULAR: |                 | ACABADO:        |            | REBARBAR Y<br>ROMPER ARISTAS<br>VIVAS |  | NO CAMBIE LA ESCALA      |  | REVISIÓN    |  |
|   |                 |                 |            |                                       |  | TÍTULO:                  |  |             |  |
|   |                 |                 |            |                                       |  | Vistas Estación de Pines |  |             |  |
| NOMBRE  |                 | FIRMA           |            | FECHA                                 |  |                          |  |             |  |
| DIBUJ.  | ADRIAN CARDONA  | ADRIAN CARDONA  | 30/11/2020 |                                       |  |                          |  |             |  |
| VERIF.  | FELIPE MORENO   | FELIPE MORENO   |            |                                       |  |                          |  |             |  |
| APROB.  | BYRON HERNANDEZ | BYRON HERNANDEZ |            |                                       |  |                          |  |             |  |
| FABR.   | LEODILBER DAZA  | LEODILBER DAZA  |            |                                       |  |                          |  |             |  |
| CALID.  |                 |                 |            | MATERIAL:                             |  | N.º DE DIBUJO            |  | A4          |  |
|   |                 |                 |            | ACRÍLICO                              |  | 1                        |  |             |  |
|   |                 |                 |            | PESO:                                 |  | ESCALA: 1:5 / 1:2 / 1:1  |  | HOJA 3 DE 3 |  |
|   |                 |                 |            |                                       |  |                          |  |             |  |
| 4   |                 | 3               |            | 2                                     |  | 1                        |  |             |  |

Tabla 15 - Vistas estación de Pines - Ficha técnica

- Vistas de los diseños realizados en CAD de la estación de brazo

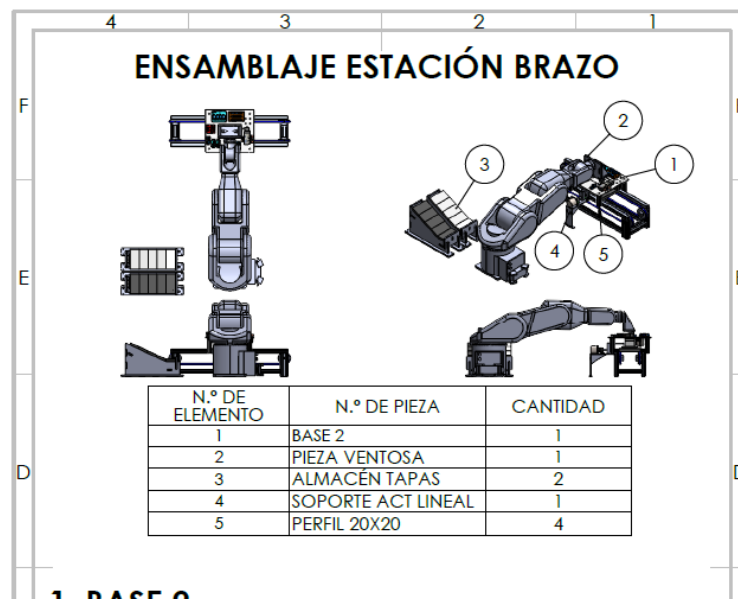


Tabla 16 - Vistas estación de brazo - Visión general





### 3. ALMACÉN TAPAS

Tabla 19 - Vistas estación de brazo - Almacén tapas

#### 4. SOPORTE ACT LINEAL

*Tabla 20 - Vistas estación de brazo - Soporte Actuador Lineal*

## 5. PERFIL-20X20

Tabla 21 - Vistas estación de brazo - Perfil 20x20

|  |  |  |                 |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
|--|--|--|-----------------|--|---------------------------------------|--|---------------------|--|-----------------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM |  |  | ACABADO:        |  | REBARBAR Y<br>ROMPER ARISTAS<br>VIVAS |  | NO CAMBIE LA ESCALA |  | REVISIÓN              |  |
| ACABADO SUPERFICIAL:   |  |  |                 |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| TOLERANCIAS:   |  |  |                 |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| LINEAL:  |  |  |                 |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| ANGULAR:   |  |  |                 |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| NOMBRE   |  |  | FIRMA           |  | FECHA                                 |  |                     |  | TÍTULO:               |  |
| DIBUJ. ADRIAN CARDONA  |  |  | ADRIAN CARDONA  |  | 30/11/2020                            |  |                     |  | Vistas Estación Brazo |  |
| VERIF. FELIPE MORENO   |  |  | FELIPE MORENO   |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| UPROB. SYRON HERNANDEZ                                       |  |  | SYRON HERNANDEZ |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| TABR. LEOLENN DAJA   |  |  | LEOLENN DAJA    |  |                                       |  |                     |  |                       |  |
| CAUD.  |  |  |                 |  | MATERIAL:                             |  | N.º DE DIBUJO       |  |                       |  |
|  |  |  |                 |  | ACRÍLICO                              |  | 2                   |  | A4                    |  |
|  |  |  |                 |  | PESO:                                 |  | ESCALA: 1:2 / 1:1   |  | HOJA 3 DE 3           |  |
| 4  |  |  | 3               |  |                                       |  | 2                   |  | 1                     |  |

Tabla 22 - Vistas estación de brazo - Ficha técnica

- Diagrama circuital.

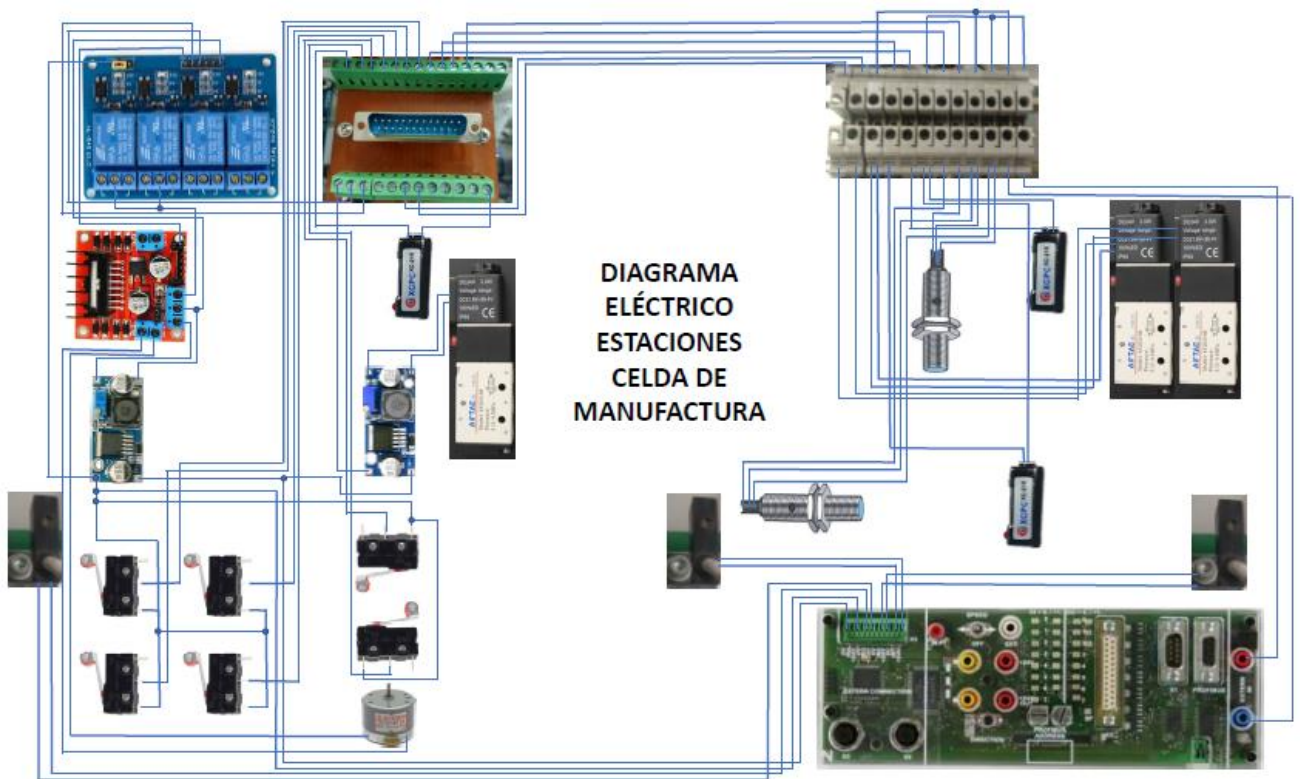


Tabla 23 - Diagrama eléctrico de las estaciones de la celda de manufactura

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias

- [1] M. Carvajal, «Reportero Industrial,» Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Evolucion-de-la-automatizacion-industrial+98784..>
- [2] J. M. Sanchez, Descubrimientos: Innovación y tecnología siglos XX y XXI, Madrid: CSIC Press, 2010.
- [3] R. Industrial, «RomeCo Industrial,» 13 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.romecoindustrial.com/2018/11/13/cilindro-neumatico-piston-neumatico/>.
- [4] S. R. Schmid, Manufactura: Ingeniería y Tecnología, New Jersey: Prentice Hall, 2001.
- [5] J. A. R. Oscar Barrera, Sistemas Eléctricos de Capacidad y Comfortabilidad, Madrid: Paraninfo, 2011.
- [6] Ing. Mecafénix, «Ingeniería Mecafénix,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>.
- [7] J. C. García, Clasificación, características y uso de aplicación de Bandas Transportadoras, Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería., 2017.
- [8] J. C. Martín, Actuadores y sus aplicaciones(Instalaciones domóticas), Editex, 2011.
- [9] FESTO Didactic GmbH & Co., Manual 538694, FESTO Didactic, 2005.
- [10] Instrument Society of America Standard, "Fisher control valve handbook" fourth edition, Instrument Society of America Standard, 1977.
- [11] FESTO Didactic, «FESTO Didactic,» [En línea]. Available: <https://www.festo-didactic.com/int-es/servicios/simbolos/tecnica-de-fluidos-hidraulica/valvulas/valvulas-reguladoras-de-caudal-regulador-de-flujo-unidireccional,ajustable.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4zMjMxLjY3OTg>.
- [12] M. Á. Pulido, Controladores Lógicos, Barcelona: Marcombo, 2007.
- [13] SIEMENS, «SIEMENS,» [En línea]. Available: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>.
- [14] United States, Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration Technical Manual, United States, Department of Labor.
- [15] Kawasaki, «Kawasaki Robotics,» [En línea]. Available: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS003N/>.
- [16] M. Felser, PROFIBUS Manual: A collection of information explaining PROFIBUS networks, Berlin: ePubli, 2012.
- [17] Kawasaki Robotics, «Kawasaki,» [En línea]. Available: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/small-medium-payloads/RS003N/>.

- [18] Kawasaki Robotics, Standard Specifications RS003N-A, Kawasaki Robotics, 2015.
- [19] F. M. Martin, Autómatas Programables: Introducción al estándar IEC-61131, GENIA - Entornos integrados de automatización, 2006.